



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## NEZÁVISLÉ ZAVĚŠENÍ VOZIDEL

VEHICLE INDEPENDENT SUSPENSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

FILIP FÁBER

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. PETR HEJTMÁNEK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Filip Fáber

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Nezávislé zavěšení vozidel**

v anglickém jazyce:

### **Vehicle Independent Suspension**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování uceleného přehledu užívaných typů náprav náležících do kategorie nezávislých zavěšení motorových vozidel.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořte souhrnný přehled užívaných náprav s nezávislým zavěšením kol, porovnejte jednotlivé typy konstrukcí. Zaměřte se zejména na moderní konstrukční řešení jednotlivých typů náprav.

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, F. Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-239-6464-X, Nakladatelství VLK, Brno 2006.
- [2] REIMPELL, Jornsén, STOLL, Helmut, BETZLER, Jürgen. The Automotive Chassis: Engineering Principles. [s.l.]: SAE International, 2001. 444 s. ISBN 0768006570.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Hejtmánek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Práce obsahuje přehled nezávislých zavěšení kol vozidel. Je zde uvedeno porovnání závislého s nezávislým zavěšením kol. V práci je proveden rozbor jednotlivých typů zavěšení kol. Zavěšení jsou zobrazena v obecné podobě a propužena, aby byla objasněna jejich charakteristika. Jsou zde vysvětleny konstrukční řešení jednotlivých typů náprav, nastíněny jsou jejich výhody a nevýhody.

## **Abstract**

The thesis contains an overview of the independent suspension of vehicle wheels. There is a comparison of the independent suspension with the dependent one. In the thesis, there are shown the different types of the suspension in the general form which are sprung to explain their characteristics. The structural design of the vehicle is explained with their advantages and disadvantages.

## **Klíčová slova**

Nezávislé zavěšení, tuhé zavěšení, náprava.

## **Keywords**

Independent suspensions, dependent suspensions, axles.

## **Bibliografická citace**

FÁBER, F. Nezávislé zavěšení vozidel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Hejtmánek.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma nezávislé zavěšení vozidel vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, které jsou součástí této práce.

28.5.2010

.....

Filip Fáber

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Hejtmánkovi za užitečné rady, trpělivost a ochotu pomoci při vypracování bakalářské práce.

# Obsah

1 Úvod.....	9
2 Zavěšení kol.....	9
2.1 Účel zavěšení kol.....	9
2.2 Geometrie zavěšení kol.....	10
2.2.1 Úhel odklonu kola.....	11
2.2.2 Příklon rejdové osy.....	12
2.2.3 Poloměr rejdu.....	12
2.2.4 Záklon rejdové osy.....	13
2.2.5 Úhel sbíhavosti.....	13
2.3 Rozdíl mezi nezávislým a závislým zavěšením.....	14
3 Přehled nejčastějších typů nezávislého zavěšení.....	17
3.1 Výkyvné polonápravy (koncept Tatra).....	17
3.1.1 Historie a konstrukční řešení výkyvných polonáprav.....	17
3.1.2 Kinematika výkyvných polonáprav.....	20
3.2 Lichoběžníková náprava.....	21
3.2.1 Konstrukční řešení lichoběžníkové nápravy.....	21
3.2.2 Typy provedení lichoběžníkové nápravy.....	22
3.2.3 Příklady konstrukčního provedení lichoběžníkové nápravy.....	23
3.2.4 Kinematika lichoběžníkové nápravy.....	27
3.2.5 Zachycení sil působících na lichoběžníkovou nápravu.....	28
3.3 Náprava MacPherson.....	29
3.3.1 Historie nápravy MacPherson.....	29
3.3.2 Konstrukce nápravy MacPherson.....	30
3.3.3 Zachycení příčné síly vznikající při zatačení.....	31
3.3.4 Kinematika nápravy MacPherson.....	32
3.3.5 Použití nápravy MacPherson u zadní nápravy.....	33
3.4 Víceprvková náprava.....	34
3.4.1 Konstrukční řešení víceprvkové nápravy.....	34
3.5 Kliková náprava.....	37
3.5.1 Konstrukční řešení klikové nápravy.....	37
3.5.2 Působení sil na klikovou nápravu.....	39
3.5.3 Kinematika klikové nápravy.....	40
3.6 Kyvadlová úhlová náprava.....	41
3.6.1 Konstrukční řešení kyvadlové úhlové nápravy.....	42
3.6.2 Kinematika úhlové nápravy.....	44
3.7 Zadní nápravy s torzně propojovacím prvkem.....	45
3.7.1 Kliková náprava s torzně propojovacím prvkem.....	45
3.7.2 Zadní náprava Nissan Multi-link.....	47
3.8 Náprava Citroën 2CV.....	50
4 Závěr.....	52
Použitá literatura.....	53
Použité symboly a zkratky.....	55



## 1 Úvod

Se vznikem dopravy vozidly se zavedl pojem zavěšení kol, které zabezpečuje připojení kol k rámu vozidla. Zavěšení kol slouží k připojení kol k vozidlu a umožňuje kolům absorbovat nerovnosti vozovky. Z počátku byly dopravní rychlosti malé, a tak stačilo jednoduché závislé zavěšení kol. Vzniklo spojením kol příčnickem a jeho uchycení k rámu pomocí listových pružin. Tak vznikla tuhá náprava. Se zvyšujícími rychlosti vozidel se zároveň zvyšovaly nároky na kvalitu a bezpečnost odpružení. Tak vzniklo nezávislé zavěšení.

Nezávislé zavěšení kol je možné provést pomocí řady konstrukčních řešení. V této práci je přehled nejrozšířenějších typů nezávislého zavěšení. Je ukázáno, jak se bude každý typ nápravy chovat během propružení. Kinematické body náprav byly voleny zejména tak, aby byly co nejvíce patrné změny ve vedení kola. Propružení náprav jsou proto přehnaná.

V kapitole č. 2 zavěšení kol jsou vysvětleny některé pojmy, které jsou použity u rozboru jednotlivých typů náprav.

## 2 Zavěšení kol

### 2.1 Účel zavěšení kol

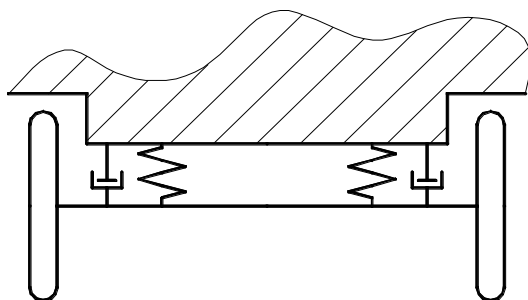
Zavěšení kol slouží k připojení kol k rámu nebo karoserii vozidla. Zavěšení kola zajišťuje tzv. vedení kola. Umožňuje svislý relativní pohyb kola vzhledem ke karoserii nebo rámu potřebný z hlediska propružení a eliminuje na přijatelnou hodnotu nežádoucí pohyby kola, které jsou boční posuv a naklápění kola. Zavěšení kol přenáší síly a momenty mezi karoserií a kolem. Jde o svislé síly, které vznikají od tíhy vozidla. Podélné síly, které vznikají při brzdění nebo při zrychlování. Příčné síly, které vznikají při změně směru vozidla (při zatáčení), vlivem odstředivých sil.

Z důvodu kvality odpružení je zapotřebí, aby celé zavěšení kola bylo co nejlehčí. Díky tomu klesne hmotnost neodpružených dílů vozidla. Neodpružené díly vozidla mají z důvodu setrvačnosti vliv na kontakt kol s vozovkou. Proto se zavádí poměr odpružených a neodpružených hmotností automobilu a je možným měřítkem kvality odpružení daného automobilu.

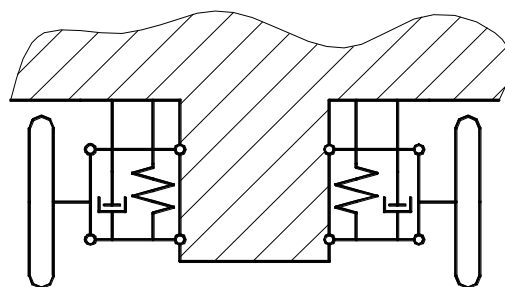
Pneumatika má největší přilnavost a tím i přenese největší síly, právě když je téměř kolmá k povrchu vozovky. Proto ideální zavěšení kola je tehdy, když zabezpečuje téměř kolmou polohu kola k vozovce. Z hlediska kinematiky je ale právě takový stav těžko proveditelný. Návrh odpružení vozidla je vždy kompromisem. Typ a provedení zavěšení je zvolen hlavně podle účelu vozidla. [1]

Zavěšení kol se dá rozdělit do dvou hlavních druhů:

- závislé zavěšení. Kola jsou uložena na společném příčném nosníku. Při svislém propružení jednoho kola vznikne rovněž pohyb druhého kola (viz obr. 1). [1]
- nezávislé zavěšení. Každé kolo je zavěšeno ke karoserii samostatně, nezávisle na protilehlém kole. Při svislém propružení jednoho kola nevznikne pohyb druhého kola (viz obr. 2). [1]



*Obr. 1 Schéma závislého zavěšení.*



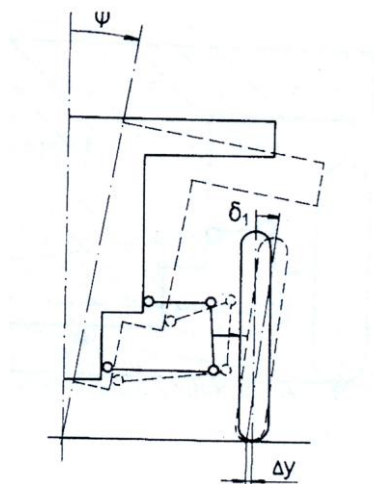
*Obr. 2 Schéma nezávislého zavěšení.*

## 2.2 Geometrie zavěšení kol

Aby bylo zajištěno přesné vedení vozidla po vozovce při přímém směru i v zatáčkách, mají kola a rejdové osy určité geometrické odchylky od svislé polohy.

Při pohybu vozidla v přímém směru je žádoucí, aby při tlumení svislých sil, které vznikají např. při přejezdu přes nerovnosti, kola neměnila svůj odklon. Zůstanou tak kolmé k vozovce. Při pohybu vozidla v zatáčce dojde ovšem ke klopení karoserie o úhel  $\psi$  (viz obr. 3) a zároveň dojde ke klopení kol. Kolmé postavení kol k vozovce potom není zachováno. Z tohoto důvodu zavěšení při propružení mění odklon kola. Při zátěži se zvyšuje záporný odklon kola. Nastavení počátečního odklonu kola a jeho změnu během propružování se provádí pomocí volby polohy kinematických bodů a délkou ramen nápravy při návrhu nápravy. Tato nastavení jsou otázkou kompromisu, protože čím více se bude měnit odklon kola, tím hůř vozidlo bude stabilní v přímém směru a naopak bude mít větší přilnavost v zatáčkách. Další parametr, který ovlivní nastavení podvozku, je účel vozidla. Pokud jde o rodinný typ automobilu, který je zároveň konstruován na větší změnu zátěže, je změna odklonu při propružení menší. U sportovního automobilu je zase změna odklonu při propružení větší. Automobil má potom větší přilnavost v zatáčkách. Změna zatížení sportovního automobilu není tak velká, proto nedojde při velkém zatížení automobilu k příliš velkému zápornému odklonu kola, který by při přímém směru nesesouměrně opotřebovával pneumatiky a zároveň zmenšoval stabilitu vozu při přímém směru.

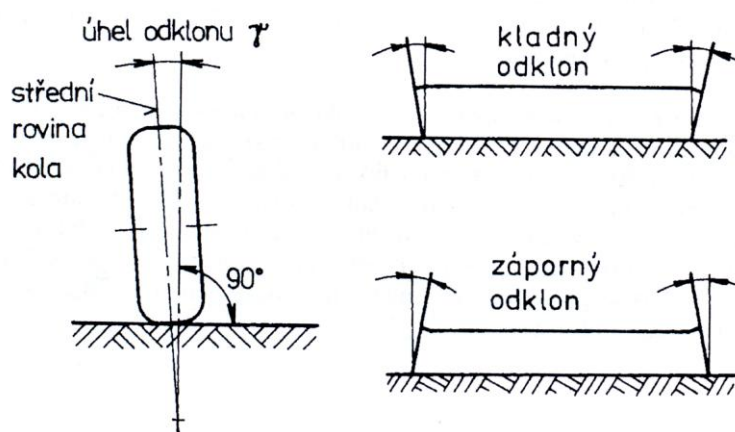
Vozidla dnes mají kvalitní zkrutné stabilizátory, které klopení karoserie v zatáčkách značně omezují. Z tohoto důvodu není požadavek na změnu odklonu kol vozidla v zatáčce tak velký. Řídící náprava má navíc záklon rejdové osy, který ovlivňuje odklon řídících kol v závislosti na zatočení kol. Zadní náprava má větší záporný odklon kola. Při pohybu vozidla v zatáčce se tak vnější zatížené zadní kolo staví kolmo k vozovce. [1]



Obr. 3 Klonění karoserie při pohybu v zatáčce [1].

### 2.2.1 Úhel odklonu kola

Úhel odklonu kola  $\gamma$  je sklon střední roviny kola vůči svislé ose vozidla (viz obr. 4). Je uvažován kladně, jestliže se kolo vrchní částí odklání od vozidla. Záporně jestliže se přiklání do středu vozidla. [1]



Obr. 4 Úhel odklonu kola [1].

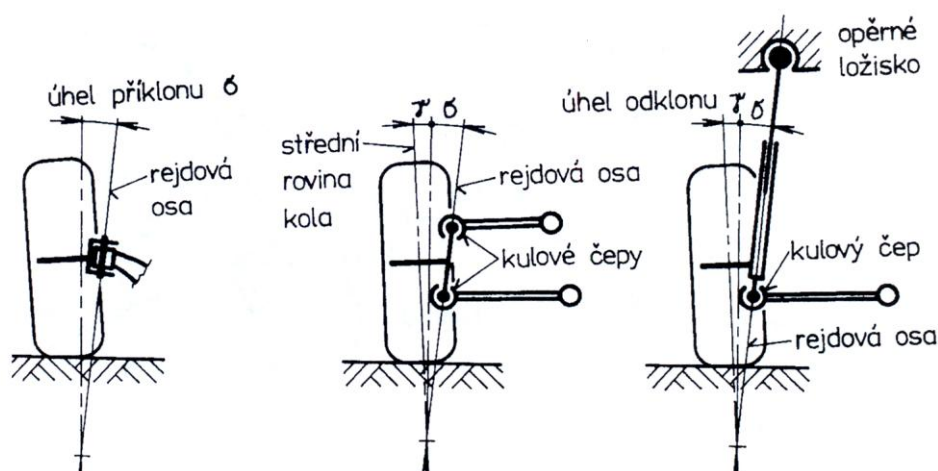
Na přední nápravě se volí úhel odklonu často kolem  $0^\circ$ , v poslední době se pro zvýšení přilnavosti v zatáčkách volí i  $-1^\circ$  až  $-2^\circ$ . Na zadní nápravě se úhel odklonu volí záporný (kolem  $-3^\circ$ ). Přední pneumatiky se nejvíce opotřebovávají na vnějším kraji běhounu, proto se poté přední pneumatiky vymění se zadními. Na zadních kolech je vyšší záporný úhel odklonu a navíc zadní pneumatika v zatáčce nemění směr auta, proto

je opotřebována hlavně na vnitřním kraji běhounu. Tato výměna pneumatik má umožňovat stejnoměrné opotřebení. [1]

### 2.2.2 Příklon rejdové osy

Příklon rejdové osy  $\sigma$  je průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla (viz obr. 5).

Slouží především k ulehčení řízení. Má vliv na poloměr rejdu, který zmenšuje, zmenšuje také sílu potřebnou k řízení automobilu, dále zabezpečuje stabilitu řízení a vrácení kol do přímého směru. Úhel příklonu rejdové osy a odklon kola tvoří sdružený úhel. [1]



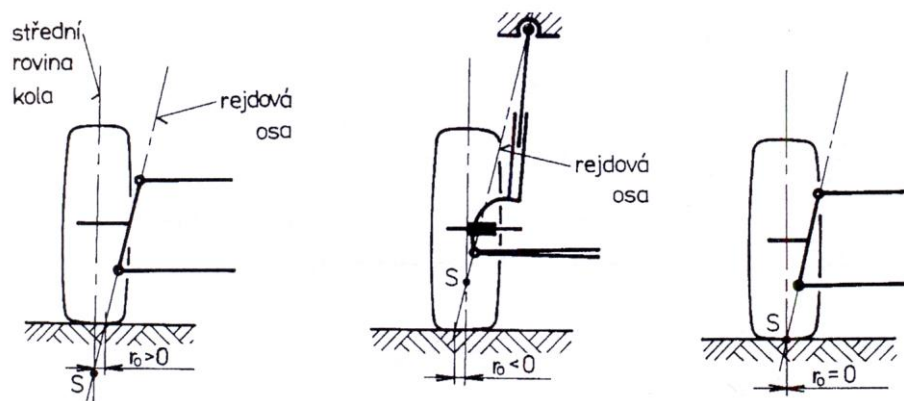
Obr. 5 Příklon rejdové osy. Vlevo tuhá náprava, uprostřed lichoběžníková, vpravo náprava MacPherson. [1]

### 2.2.3 Poloměr rejdu

Poloměr rejdu je vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky promítnutá do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla. Leží-li tento průsečík vně střední roviny kola, je poloměr rejdu záporný (viz obr. 6).

Díky nenulovému poloměru rejdu vznikají v řízení silové momenty a roste citlivost na podélné síly. V posledních letech se proto stále častěji používá záporný poloměr rejdu, který má stabilizační účinek na řízení. Kola jsou nucena do sbíhavosti a všechny případné vůle v uložení kola a spojovacích tyčí jsou stále vymezovány.

Poloměr rejdu  $r_0$  ovlivňuje odvalování kola v zatáčce a tím přilnavost vozidla. Čím je vzdálenost  $r_0$  větší, tím mají kola větší tendenci se odvalovat, zároveň je ale potřeba větší síly pro zatočení kol. [1]

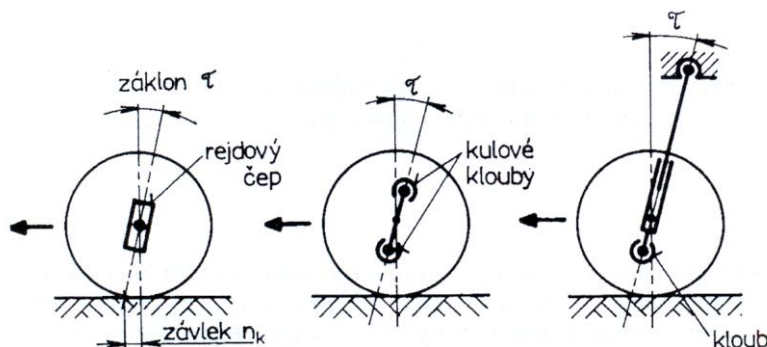


Obr. 6 Poloměr rejdu. [1]

## 2.2.4 Záklon rejdivé osy

Záklon rejdivé osy  $\tau$  je průmět úhlu sevřeného rejdivou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla (viz obr. 7).

Slouží k vracení kol do přímého směru. Pokud jsou řídicí kola v přímém směru, je vozidlo nejníže, pokud dojde k zatočení kol, zvedá se vozidlo. U řídicí nápravy je tento úhel důležitý, protože mění odklon kola při zatáčení. Cílem je zabezpečení téměř kolmého postavení řídicích kol v zatáčce. [1]

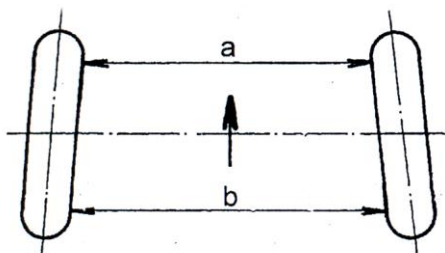


Obr. 7 Záklon rejdivé osy. Vlevo tuhá náprava, uprostřed lichoběžníková, vpravo náprava Macpherson. [1]

## 2.2.5 Úhel sbíhavosti

Úhel sbíhavosti  $\delta$  je průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky (viz obr. 8). Kolo je sbíhavé, jestliže je přední část kola přikloněna k podélné ose vozidla a rozbíhavé, je-li odkloněno.

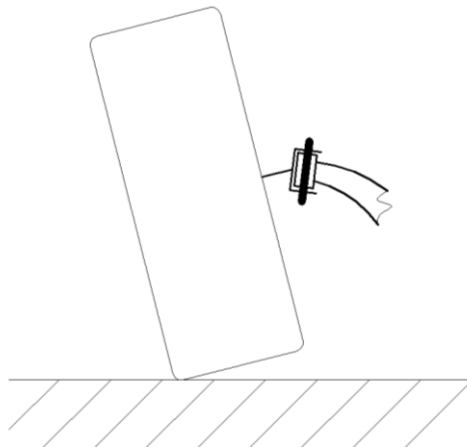
Často se volí malý úhel sbíhavosti, protože při valení kol po vozovce vzniká odpor, který má tendenci měnit úhel sbíhavosti k rozbíhavosti kola. Vozidlo se nejstabilněji chová při malém úhlu sbíhavosti, kdy vozidlo drží lépe přímý směr. [1]



*Obr. 8 Pohled seshora na nápravu, sbíhavost nápravy. [1]*

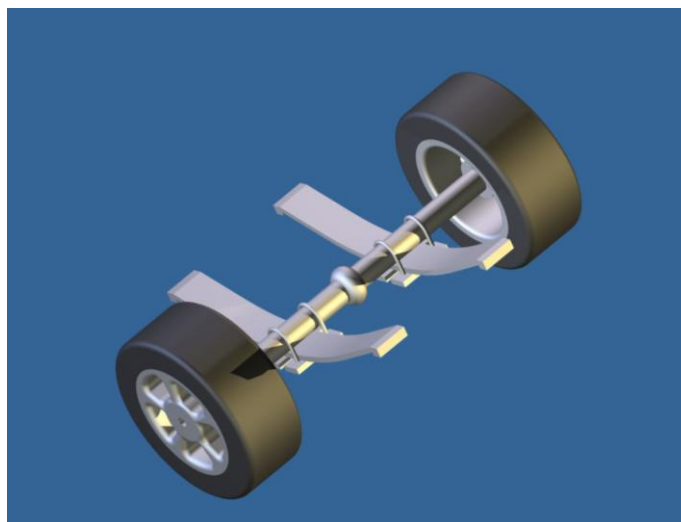
### **2.3 Rozdíl mezi nezávislým a závislým zavěšením**

Nejstarší typ je závislé zavěšení. Je to způsobené tím, že na začátku motorismu byl problém vyrobit složité tvary, hlavně např. homoklouby. Koncept automobilů byl velmi jednoduchý. Ve předu byl uložen podélně motor s převodovkou. Hnací moment byl přiváděn pomocí kardanova hřídele na zadní nápravu, která byla tuhá. Zadní náprava byl velký kus odlitku nebo výkovku. V zadní nápravě byla uložena rozvodovka s diferenciálem. Pak pomocí poloos byl moment přiveden rovnou na kola, bez žádných kloubů. Proto zadní kola neměla možnost nastavení geometrie. Z tohoto důvodu hnací náprava byla vždy zadní. Přední náprava byla také tuhá, ale byla vyrobena zpravidla z tenkého výkovku. Kolo bylo upevněno pomocí čepu, proto mohlo mít kolo odklon a záklon rejdové osy, jak je ukázáno na obr. 9. Díky tomu umožňovala přední náprava dostatečné řízení vozidla.



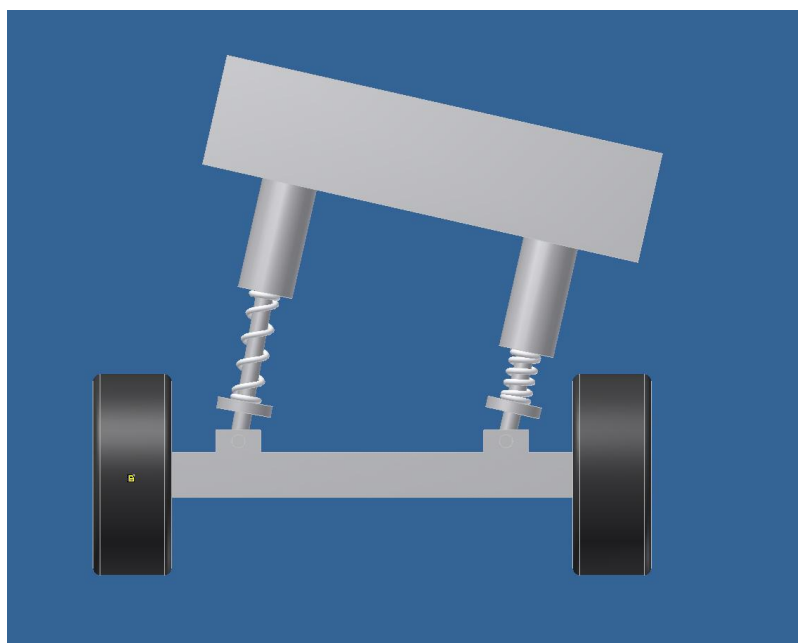
*Obr. 9 Schématické uchycení předního kola tuhé nápravy.*

Z hlediska konstrukce je jednodušší závislé zavěšení, než nezávislé. Konstrukční jednoduchost ukazuje zadní hnací tuhá náprava s dvojicí listových pružin, které byly uchyceny podélně (viz obr. 10). Listové pružiny byly dostatečně široké, aby umožňovaly zachytit boční síly na kola. Díky tomu, že listová pružina byla složena z více pružin, které se po sobě třely během propuzování, umožňovaly tyto pružiny i částečné tlumení. Proto se dříve na tuto nápravu tlumiče nedávaly. Na obr. 10 jsou listové pružiny zobrazeny pouze jako jednolistové, ve skutečnosti byly používány vždy vicelistové.



*Obr. 10 Schématické zobrazení zadní tuhé nápravy.*

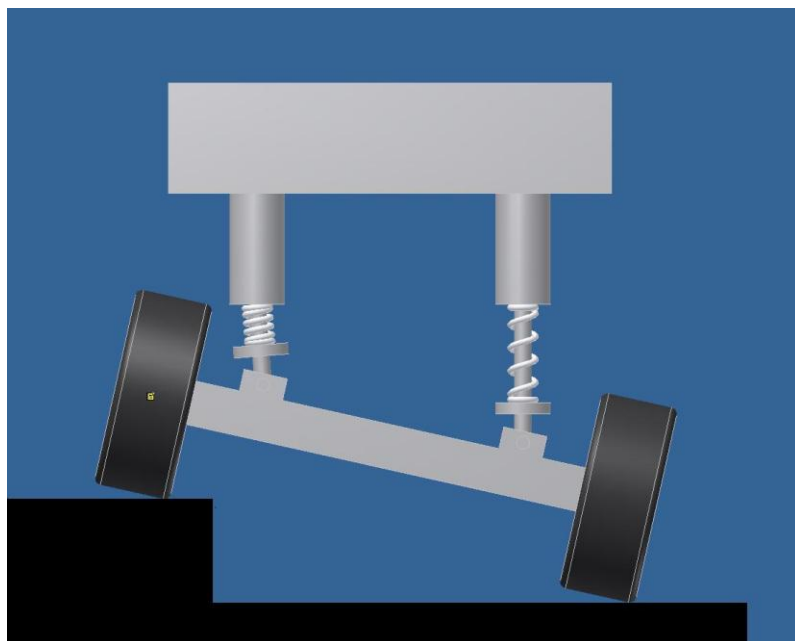
Závislé zavěšení má své výhody a nevýhody. Jako výhodu můžeme zmínit, že patří k jedné z nejjednodušších a zároveň nejdolnějších. Další důležitá výhoda je kolmé postavení kol k vozovce, když se pohybuje vozidlo v zatáčce (viz obr. 11). U nezávislého zavěšení, při pohybu vozidla v zatáčce, kolmost postavení kol záleží na typu a provedení nápravy.



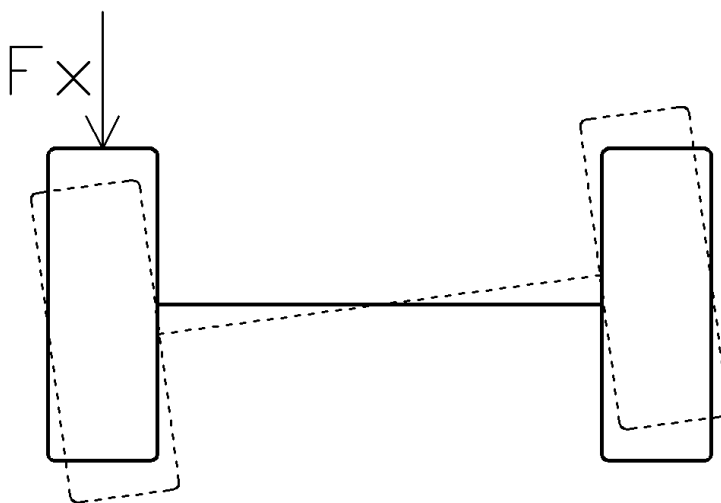
*Obr. 11 Chování tuhé nápravy v zatáčce.*

U závislého zavěšení poloha kol zůstává při všech pohybech nápravy navzájem nezměněna. To je výhodné pouze na hladné vozovce. Pokud najede jedno kolo na nerovnost (viz obr. 12), pak je pohybem odpružení jednoho kola ovlivněno i kolo druhé. Další nevýhoda závislého zavěšení je tzv. samotočení (viz obr. 13). Samotočení je způsobeno podélnou silou, která vzniká například pokud jedno kolo najede na nerovnost. Tato síla vyvolá moment, tento moment nápravu natočí a tím ruší přímou jízdu vozidla. Samotočení ovlivňuje i skutečnost, že náprava nemůže být nikdy připevněna ke karoserii dokonale tuze. Je připevněna přes silentbloky, které zvyšují

pohodlí odpružení, zamezují přenášení rázů a chvění na karoserii, ovšem umožňují bohužel také malé natočení celé nápravy. [1]



*Obr.12 Jednostranné propružení tuhé nápravy.*



*Obr.13 Pohled shora na tuhou nápravu a naznačení samořízení.*

Další nevýhoda závislého zavěšení je komfort odpružení. Protože má závislé zavěšení zpravidla špatný poměr odpružených a neodpružených hmot. Proto se závislé zavěšení používá hlavně u těžších automobilů, nákladních automobilů, autobusů, terénních automobilů (odolnost nápravy) a užitkových automobilů. Poměr neodpružených a odpružených hmot je zde lepší, protože váha nápravy je vzhledem k váze těžkých vozidel menší. [1]



### 3 Přehled nejčastějších typů nezávislého zavěšení

V současnosti se používají zejména tyto druhy nezávislého zavěšení kol:

Přední a zadní náprava:

- lichoběžníková náprava (dvojice příčných trojúhelníkových ramen)
- náprava MacPherson (teleskopická vzpěra a spodní trojúhelníkové rameno)
- výkyvné polonápravy (koncept Tatra)
- víceprvková (kolo je zavěšeno na více ramenech)

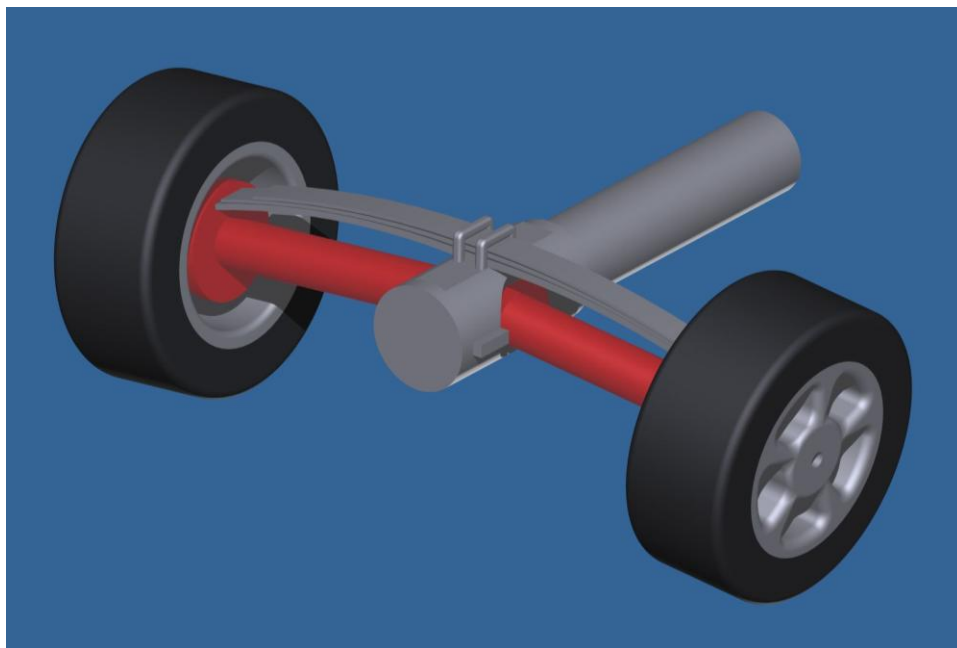
Zadní náprava:

- kyvadlová úhlová náprava (trojúhelníková ramena se šikmou osou kývání)
- kliková náprava (podélná ramena s příčnou osou kývání)
- náprava s torzním propojovacím prvkem (spřažená náprava)

#### 3.1 Výkyvné polonápravy (koncept Tatra)

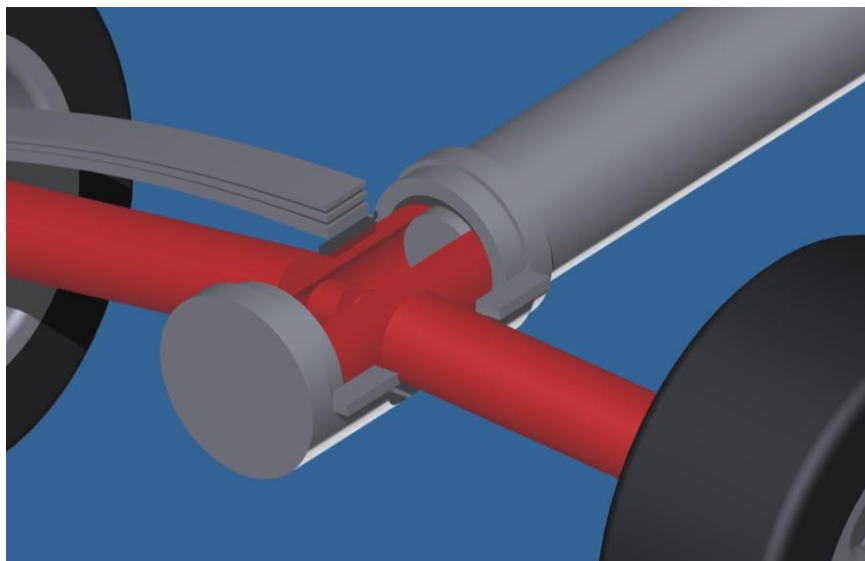
##### 3.1.1 Historie a konstrukční řešení výkyvných polonáprav Tatra

Jedním z prvních průkopníků nezávislého zavěšení byla firma Tatra a.s. Konstruktor Hans Ledvinka uměl správně vyhodnotit ekonomickou situaci po první světové válce a zaměřil se na stavbu jednoduchého, úsporného a odolného automobilu. Výsledkem byl automobil Tatra 11, která se poprvé představila v roce 1923. Malý a odolný automobil vytvořil úplný převrat v platných konstrukčních zásadách. Motor byl vzduchem chlazený čtyřdobý boxer spojen pevně na přírubu přes spojkovou skříň s převodovkou a centrální nosnou troubou s rozvodovkou zadní nápravy. Zadní výkyvné polonápravy, nezávislé pérování a páteřová konstrukce podvozku umožňovala stavbu nejrůznějších alternativ (viz obr. 14). Vůz měl díky tomu bezrámové šasi. U celého vozidla nebyl použit jediný kloub, snižující účinnost přenosu výkonu na hnací kola. U zadní nápravy umožňovalo kývavý pohyb natáčení ozubených talířů podél podélné osy vozu, při jejich současném odvalování po ozubení pastorků hnacích hřídelů. Diferenciál tvořilo soukolí s čelním ozubením umožňujícím pomocí jednoduchého uzavírání jízdu členitým terénem. Jednoduchost účelné konstrukce se v principu udržela v oboru užitkových vozidel v Tatře do současnosti. [2], [3]



*Obr. 14 Pohled na zadní výkyvnou polonápravu.*

Zajímavé je uchycení polonápravy k centrální nosné rouři (viz obr. 15). Toto uchycení zajišťuje nápravě dobré vedení kola.

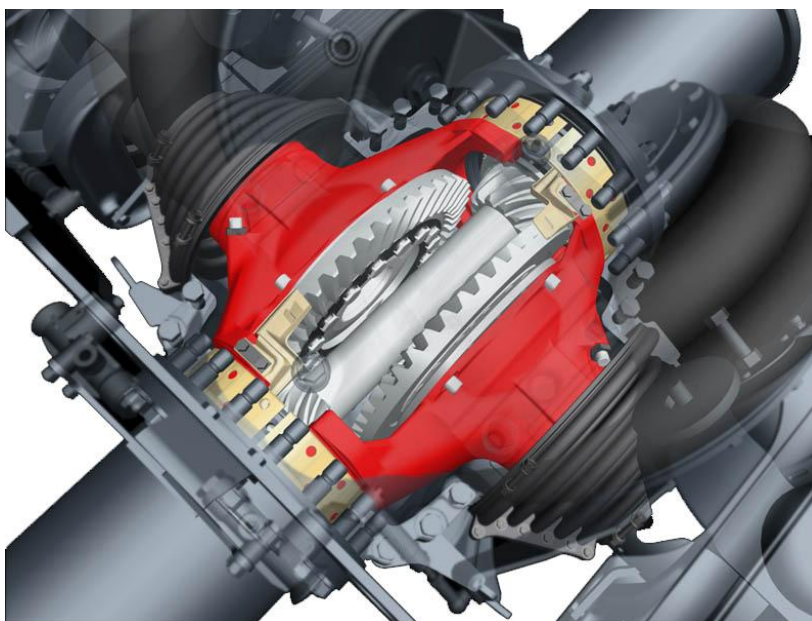


*Obr. 15 Uchycení výkyvné polonápravy.*

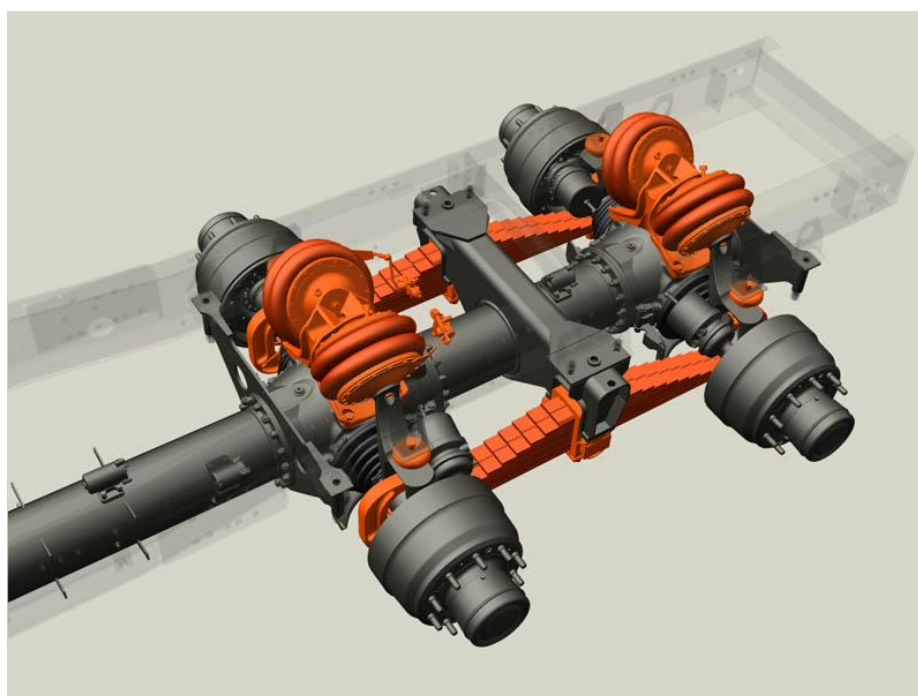
Dalším mezníkem byla Tatra 77. Přední náprava měla kola nezávisle zavěšena na lichoběžníkových ramenech, byla odpružena příčným půleliptickým listovým pérem. Zadní polonáprava se sestává ze dvou na sobě nezávislých výkyvných polonáprav, odpružena příčným půleliptickým listovým pérem. Komfort, kvalita a bezpečnost odpružení patřila v té době ke špičce. Zprávy z tisku uváděly, že není druhého vozu, v němž by rychlosti nad 100 km/h byly tak příjemné a dodávaly pocit takové bezpečnosti. Nebo dále: je to pocit úplného odpoutání od země, co tento vůz činí více než automobilem, vozidlem, pro které bude těžké hledat nové jméno. [2]

Tatra dnes vyrábí jen nákladní automobily, které jako snad jedině na trhu mají nezávislé odpružení všech kol. Původní koncept výkyvných polonáprav vylepšila a do

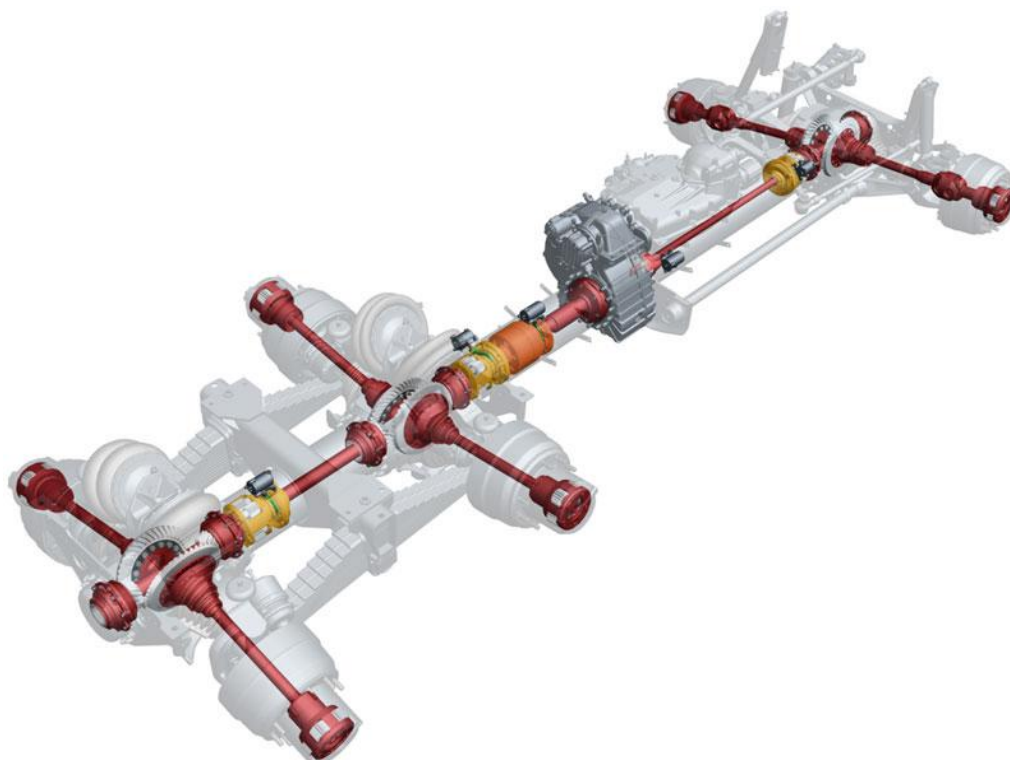
jisté míry odstranila změnu odklonu kol prázdného a plného nákladního automobilu. Vyvinula systém pérování TATRA King Frame. Je to kombinace vzduchového vaku s uvnitř uloženou vinutou pružinou. Při větších zatížení je doplněna listovými péry. Tato náprava je samozřejmě doplněna teleskopickými tlumiči a v některých verzích i zkrutnými stabilizátory. Díky vzduchovému vaku si může řidič během výšky změnit světlou výšku nákladního automobilu. Výkyvné polonápravy jsou použity jak u zadní nápravy tak u přední nápravy. Nápravy jsou ve své základní verzi vždy poháněné a vždy opatřeny uzávěrkami. Ve skříni nápravy, podle původního konceptu, je uložena dvojice hnaných talířových kol (pro každou polonápravu jedno) a dvojice pastorků, přenášejících točivý moment od diferenciálu (viz obr. 16). Všechno je ukryto v centrální nosné rouře. Výhoda tohoto řešení je v ukrytí veškerého hnacího traktu (viz obr. 18). [3]



*Obr. 16 Diferenciál výkyvných polonáprav. [4]*



*Obr. 17 Odpružení zadních náprav King Frame-vzduchový vak s listovými péry. [6]*



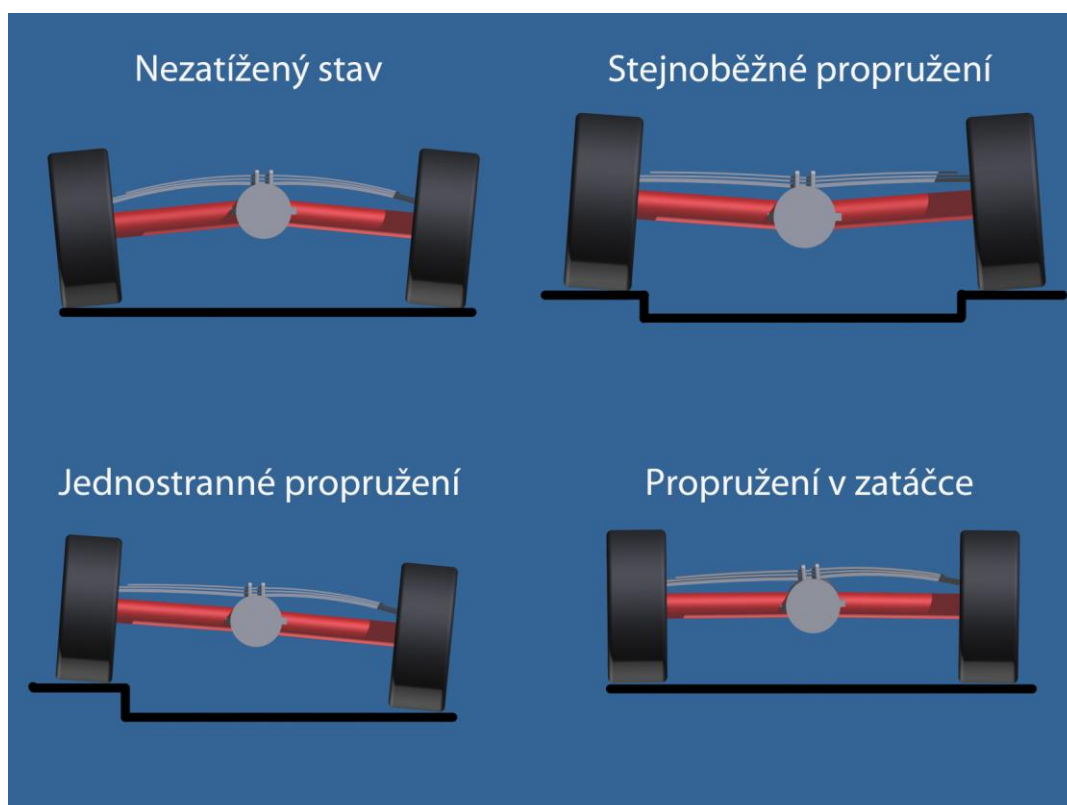
*Obr. 18 Hnací trakt a centrální nosná roura. [5]*

Výhody odpružení King Frame s centrální nosnou rourou, které dnes používají nákladní vozy Tatra jsou:

- vysoký jízdní komfort. Výkyvné polonápravy zajistí tlumení rázu nerovností a s tím související menší působení vibrací na převážený materiál jakož i nízkou únavu a zatížení řidiče vozidla.
- vysoká přepravní rychlost v náročném terénu. V porovnání s klasickou koncepcí tuhých náprav.
- vysoká stabilita vozidla při jízdě v zatáčkách a ve svazích díky nízkému těžišti.
- minimální údržba a minimální možnost poškození hnacího traktu k nápravám, protože rozvod není realizován spojovacími hřídeli (kardany), ale drážkovanými hřídeli bezpečně uloženými v centrální nosné rourě.
- vysoká tuhost podvozku s centrální nosnou rourou usnadňuje montáž nástaveb přímo na rám, který se nekroucí a neohýbá. Nástavba tak může být jednodušší, lehčí a její životnost se zvýší.
- vysoká tuhost podvozku s centrální nosnou rourou umožňuje i montáž na otřesy vozidla citlivých nástaveb. [3]

### **3.1.2 Kinematika výkyvných polonáprav**

Z obr. 19 je patrné, že mezi nevýhody výkyvných polonáprav patří změna odklonu kola při propružení vzhledem ke karoserii. Proto dříve tato náprava nebyla úplně vhodná u nákladních aut, kde se značně mění zatížení nápravy. Když bylo nákladní auto prázdné, nastal u kol kladný odklon kola a ojížděly se vnější boky pneumatiky. Naopak při plně naloženém stavu, nastal záporný odklon kola a ojížděly se vnitřky pneumatik. Tato náprava má ovšem výhodu při prohybu vozidla v zatáčce. Odklon kola se sice mění vzhledem ke karoserii, ale značně se nemění vzhledem k vozovce podobně jako u tuhé nápravy.



Obr. 19 Možnosti propružení výkyvné polonápravy.

## 3.2 Lichoběžníková náprava

Skládá se ze dvou nestejně dlouhých příčných ramen, které jsou umístěny nad sebou. Tvar ramen je zpravidla trojúhelníkový. Pokud se na nápravu podíváme zepředu, tak ramena spolu s těhlicí kola tvoří lichoběžník, odtud vznikl název této nápravy. Lichoběžníková náprava je vhodná jako řídicí a zároveň může být použita i jako hnací.

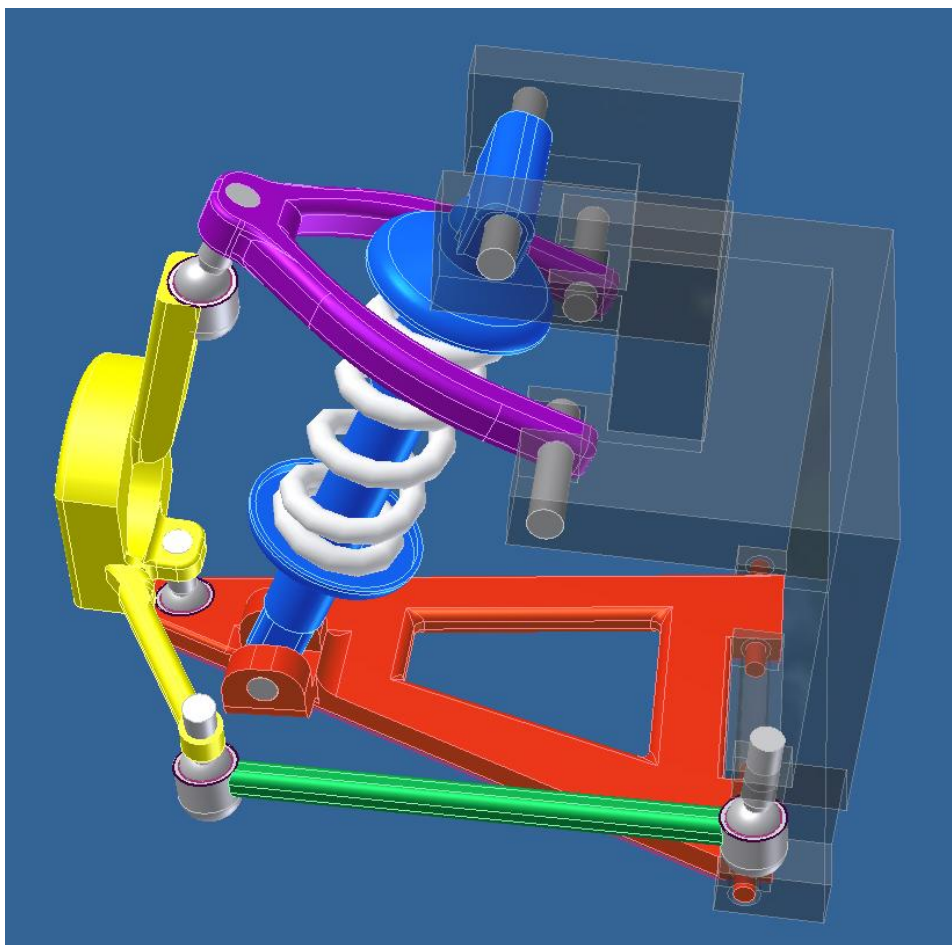
Výhoda lichoběžníkové nápravy je možnost velmi nízké stavby, v porovnání s nápravou MacPherson. Ale její konstrukce je nákladnější, a někdy bývá i náchylnější na opotřebení. Lichoběžníková náprava je schopna přenést větší výkony než náprava MacPherson (náprava MacPherson při vyšších výkonech táhne při akceleraci). Lichoběžníková náprava je při rychlé jízdě v zatáčkách dobře ovladatelná s kvalitní zpětnou vazbou, oproti tomu náprava MacPherson při rychlé jízdě ztratí zpětnou vazbu a řízení ztuhne. Lichoběžníková náprava je méně náchylná na boční vítr. Vše ovšem záleží na konstrukci dané nápravy.

Díky vyšší ceně a kinematickým přednostem se používá u aut vyšších tříd, nebo u sportovních aut. [1]

### 3.2.1 Konstrukční řešení lichoběžníkové nápravy

Příklad konstrukce lichoběžníkové nápravy je na obr. 20. Spodní trojúhelníkové rameno (zobrazeno červeně). Na spodním ramenu je upevněný tlumič (zobrazen modře) s pružinou. Horní rameno (zobrazeno fialově), je zpravidla kratší jak rameno spodní. Těhlice kola (zobrazena žlutě) se nachází mezi rameny nápravy a je k ramenům vázána kulovými čepy (jeden je mezi horním ramenem a těhlicí, druhý je mezi spodním ramenem a těhlicí). Řídící tyč (zobrazena zeleně) je s nápravou vázána kulovým čepem. Řídící tyč zabezpečuje zatáčení kola, nebo v případě zadní neřízené nápravy fixaci kola v přímém směru.



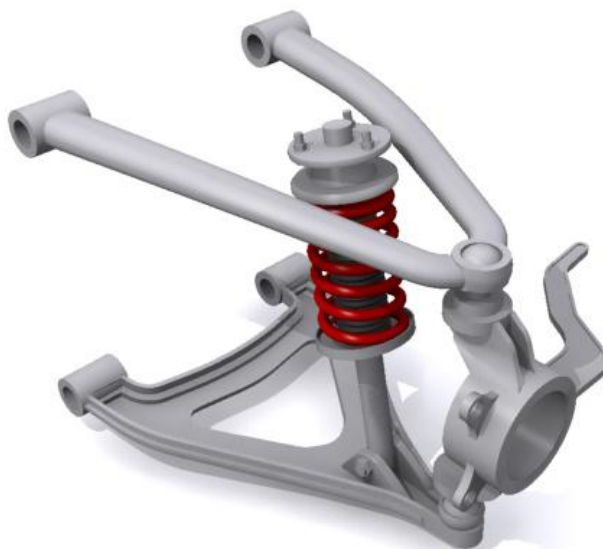


*Obr. 20 Schéma lichoběžníkové nápravy.*

### **3.2.2 Typy provedení lichoběžníkové nápravy**

Podle konstrukce uchopení tlumiče s pružinou k nápravě se dají rozlišit 2 hlavní typy nápravy.

První typ, který je zobrazen na obr. 21, je s dvojitými lichoběžníkovými rameny a uchopení tlumiče s pružinou ke spodnímu ramenu. V tomto typu lichoběžníkové nápravy spodní rameno nese většinu zatížení.



*Obr. 21 První typ uchycení tlumiče s pružinou k lichoběžníkové nápravě. [7]*

Druhý typ, který je zobrazen na obr. 22, je s dvojitým horním ramenem a jednoduchým dolním. Tlumič s pružinou je uchopen k hornímu ramenu, které u tohoto typu nápravy nese většinu zatížení. Protože spodní rameno není tak namáháno jako horní, může být jednoduchého tvaru. Tento typ nápravy není tak rozšířený a oblíbený, protože potřebuje více prostoru.



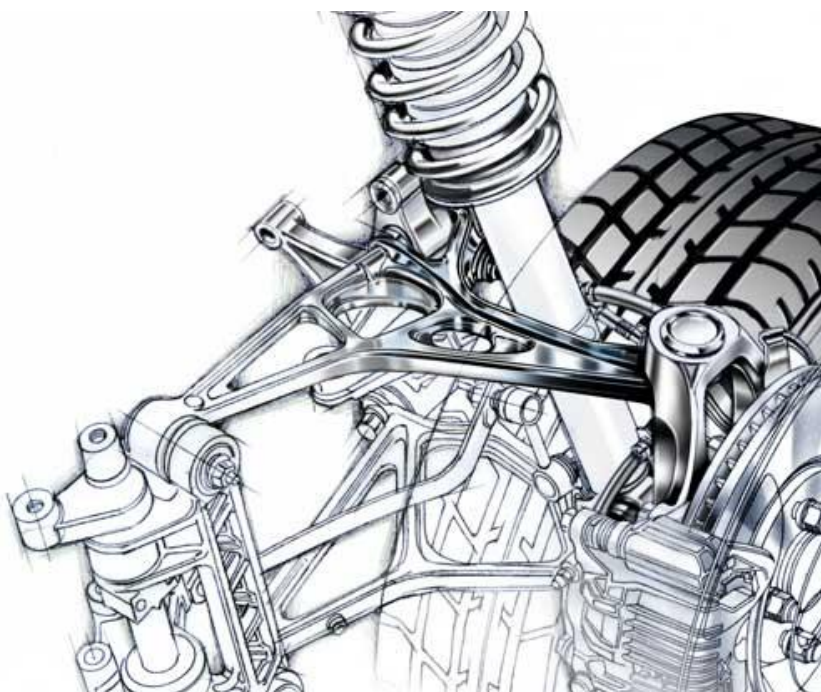
*Obr. 22 Druhý typ uchycení tlumiče s pružinou k lichoběžníkové nápravě. [7]*

### **3.2.3 Příklady konstrukčního provedení lichoběžníkové nápravy**

Honda NSX má všechna ramena nápravy vyrobená z hliníku. Ramena jsou nejprve přes silentbloky připevněna ke hliníkovému rámu a tento rám je až poté připevněný ke karoserii (viz obr. 23 a obr. 24). Využívá elastokinematiky nápravy, kdy se např. při brzdění mění postavení kol, které zvyšuje směrovou stabilitu. Díky tomu patřil automobil z hlediska přilnavosti ve své třídě ke špičce.



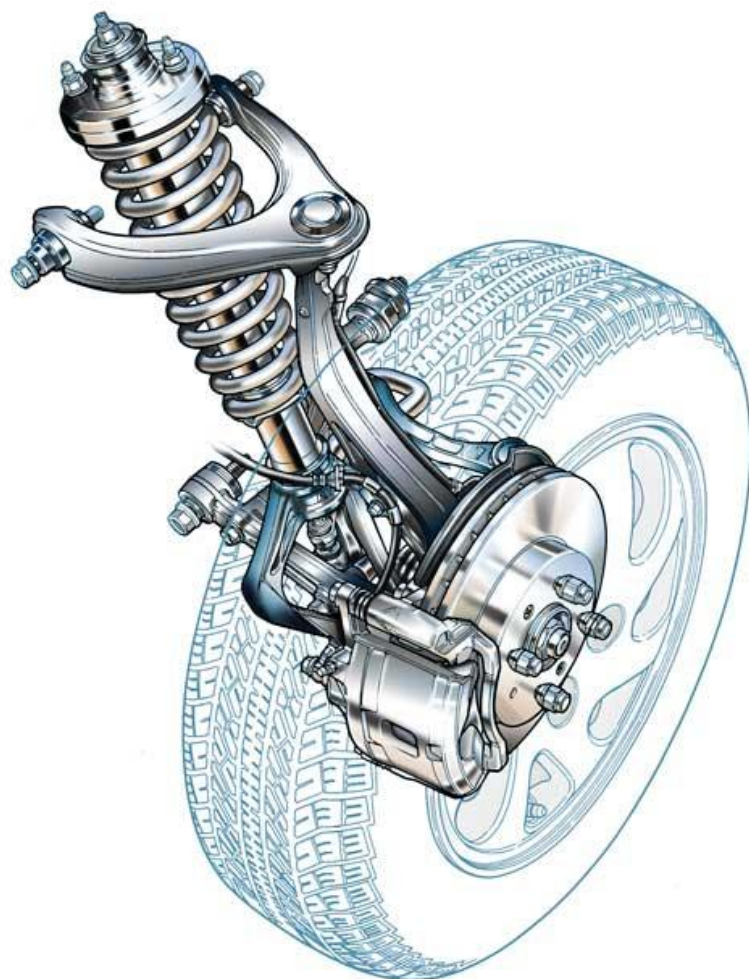
*Obr. 23 Přední náprava Honda NSX (1990). [8]*



*Obr. 24 Zadní náprava Honda NSX (1990). [8]*

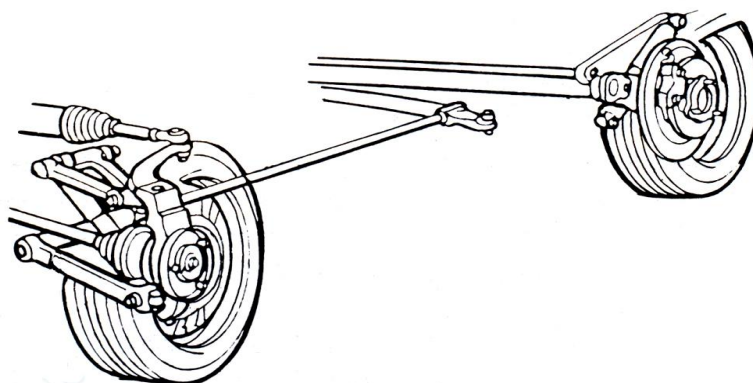
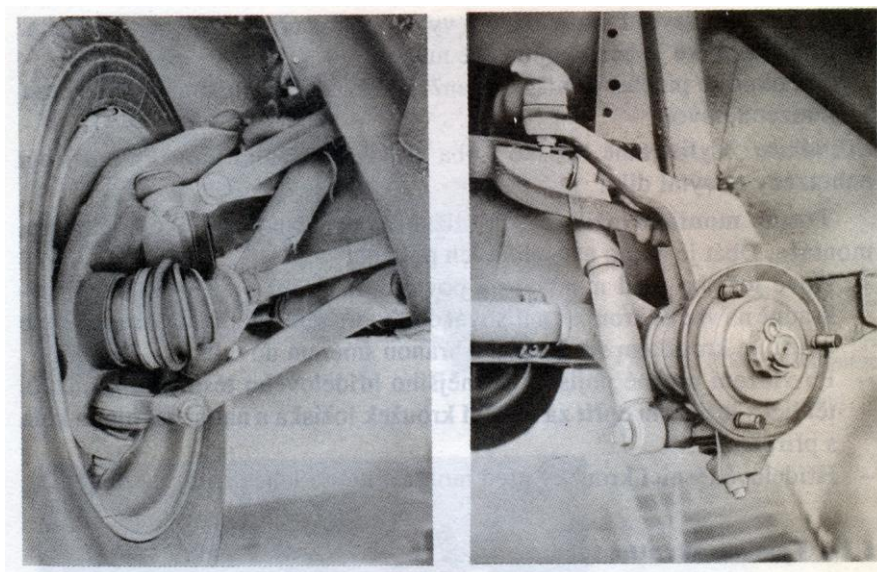
Při konstrukci nápravy u Hondy Civic konstruktéři co nejvíce oddělili horní nápravu od spodní. Díky tomu je horní náprava méně namáhána. Při brzdění nebo akceleraci je náprava zatěžována menším momentem a díky tomu je stabilnější. Tato úprava zvýšila životnost nápravy (viz obr. 25).





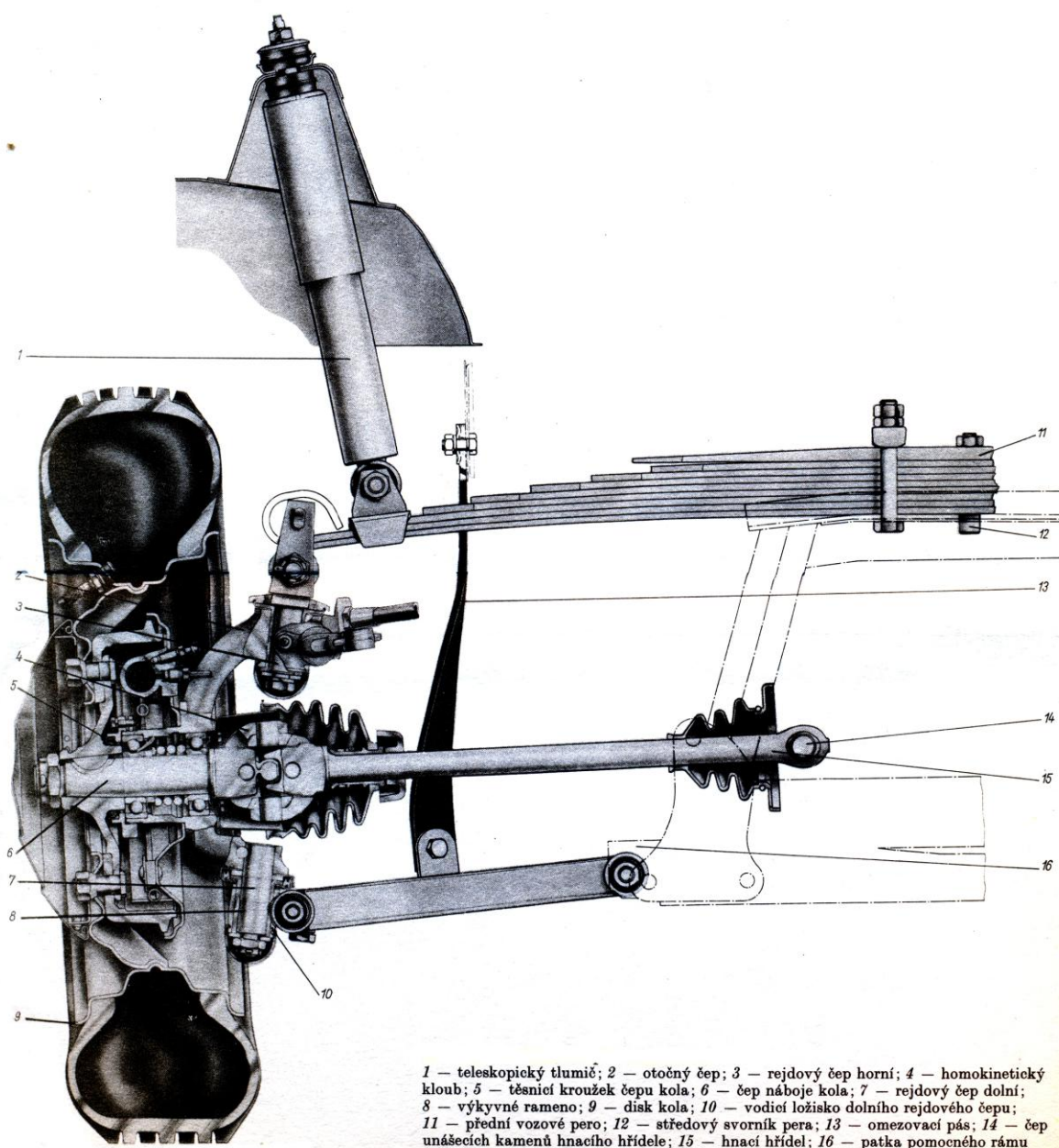
*Obr. 25 Přední náprava Honda Civic. [8]*

Další netypickou nápravu měl automobil Olteit (viz obr. 26). Automobil byl odpružený pomocí torzních tyčí. Přední náprava měla torzní tyče uspořádané podélně a zadní příčně. Přední náprava je lichoběžníkové konstrukce. Spodní rameno bylo jednoduché, horní rozdělené. Horní rameno bylo u karoserie nejprve nasunuto na společnou tyč a tato tyč byla až poté pomocí dvou silentbloků připevněna ke karoserii. K této tyči byl dále připevněn teleskopický tlumič. Brzdy byly umístěny u převodovky. Tato náprava má z lichoběžníkových snad nejlepší poměr odpružených a neodpružených hmot. Ve své době byla tato náprava velice komfortní. Velice dobře pohlcovala nerovnosti, umožňovala velmi rychlou jízdu na nekvalitní vozovce a měla velmi dobrou směrovou stabilitu. Nebyla náchylná na boční vítr.



*Obr. 26 Náprava vozu Olcit (1985). [9]*

Ramena lichoběžníkové nápravy mohou být nahrazena listovým pérem (viz obr. 27). Toto řešení zjednodušuje celou nápravu. Na horní rameno lichoběžníkové nápravy působí síla v ose ramena, v tomto případě do osy pružiny. Je proto nutné, aby pružina byla co nejprímější. Pokud by došlo k velkému vyboulení, pak by tato síla mohla pružinu propružit a tím vlastně zkrátit nebo prodloužit horní rameno. To by změnilo odklon kola. Další nevýhoda je přenos hluku a vibrací do karoserie, protože listové péro je pevně spojeno s karoserií, bez silentbloku. Listové péro nemá progresivní charakteristiku pružení, jakou může mít vinutá pružina. Proto se toto konstrukční řešení dnes nepoužívá.



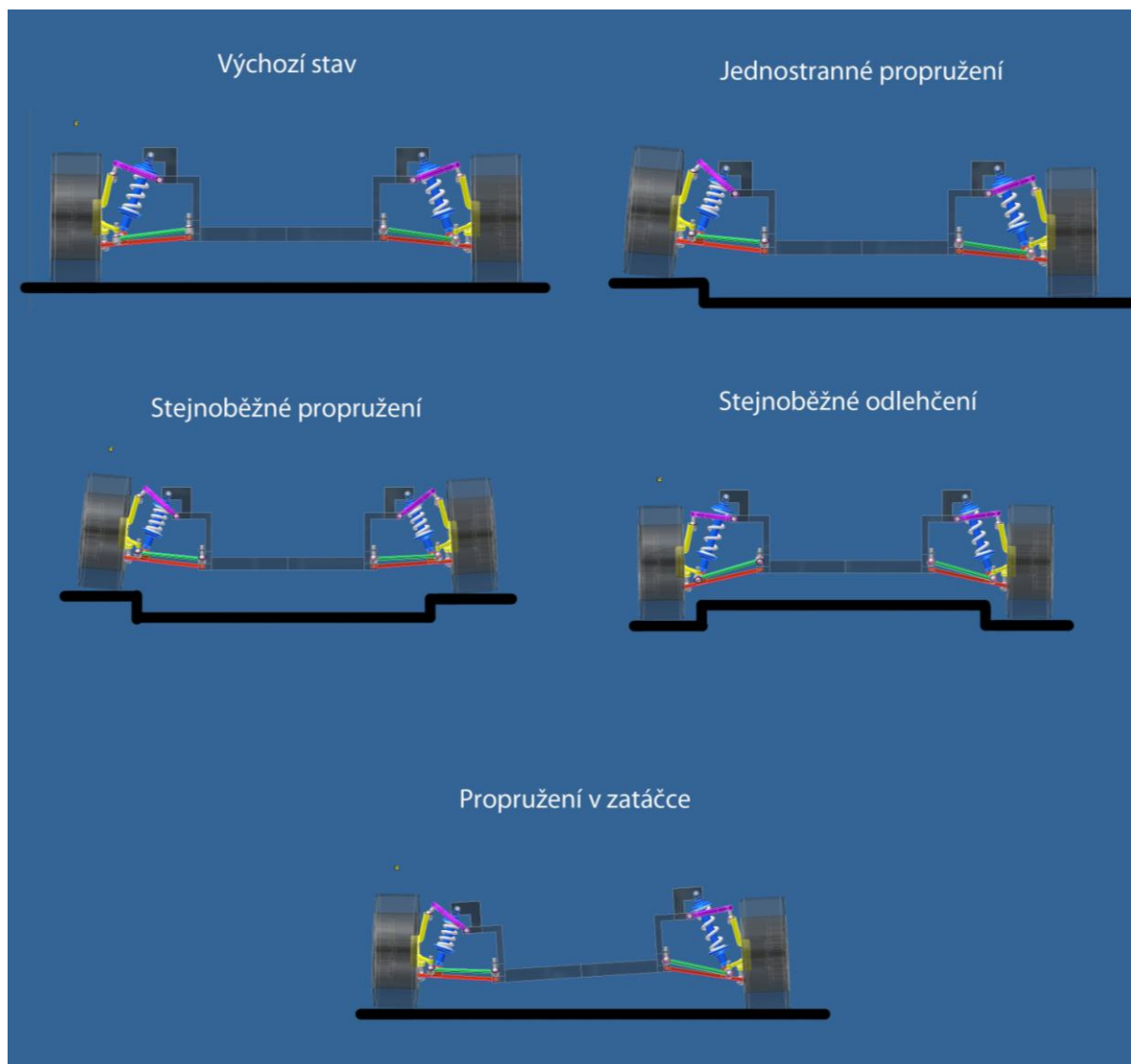
Obr. 27 Řez přední nápravou vozu trabant (1958). [10]

### 3.2.4 Kinematika lichoběžníkové nápravy

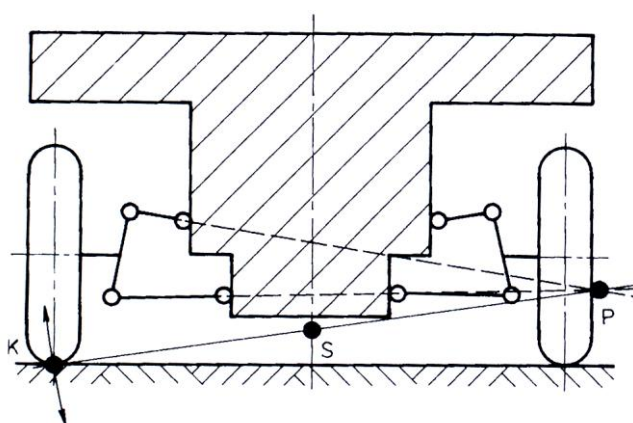
Při propružení kola dochází ke změně odklonu kola, změně rozchodu kol a sbíhavosti kol. Při návrhu konstrukce nápravy se dají vhodnou geometrií všechny tyto změny při propružení ovlivňovat. Například vzájemnou délkou ramen, nebo jejich polohou uchycení ke karoserii. Na obr. 28 je znázorněná kinematika lichoběžníkové nápravy. Lichoběžníková náprava díky změně odklonu kola má výhodu v zatáčkách, kde při vhodné geometrii nápravy zůstávají kola kolmě nakloněná k vozovce.

Okamžitý střed klonění nápravy je místo, okolo kterého se karoserie při pohybu v zatáčce naklání (viz obr. 29). Čím je tento bod výš, tím menší má náprava tendenci se naklánět. [1]





Obr. 28 Kinematika lichoběžníkové nápravy.

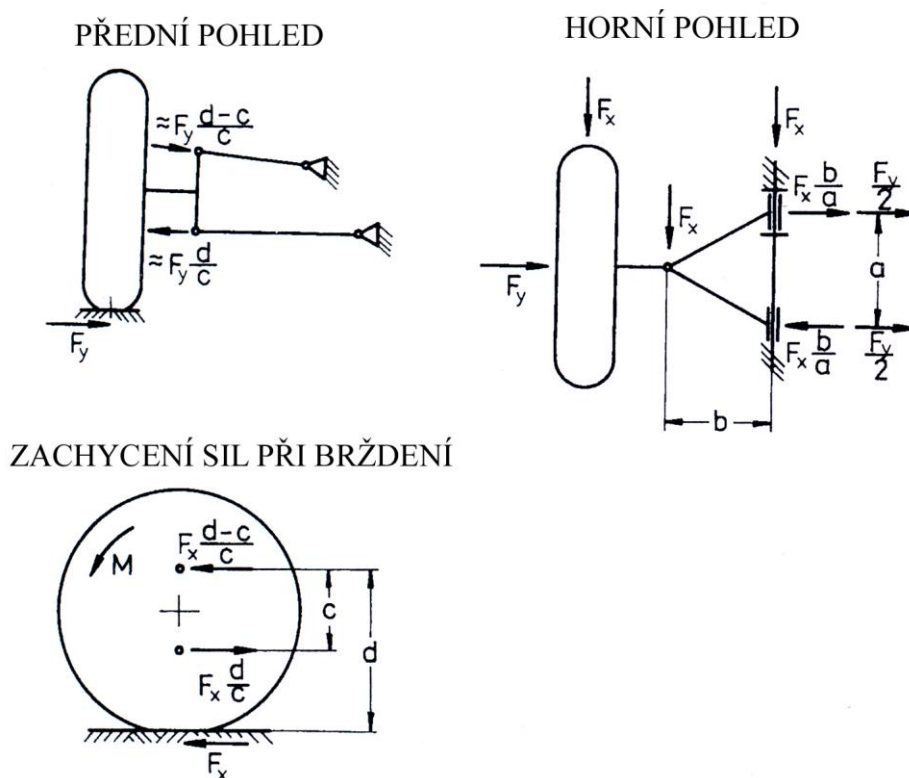


Obr. 29 Konstrukce středu klonění nápravy. [1]

### 3.2.5 Zachycení sil působících na lichoběžníkovou nápravu

Pokud je náprava v zatáčce, tak jsou ramena nápravy zatěžovány jen tahem (horní rameno) nebo tlakem (spodní rameno). Díky tomu je náprava relativně tuhá. Při

brzdění nebo akceleraci, jsou ramena namáhána i na ohyb. Protože jsou ramena ve tvaru trojúhelníka, tak výsledná síla se rozloží na každé polorameno (viz obr. 30). [1]



Obr.30 Zachycení bočních a obvodových sil na lichoběžníkové nápravě. [1]

### 3.3 Náprava MacPherson

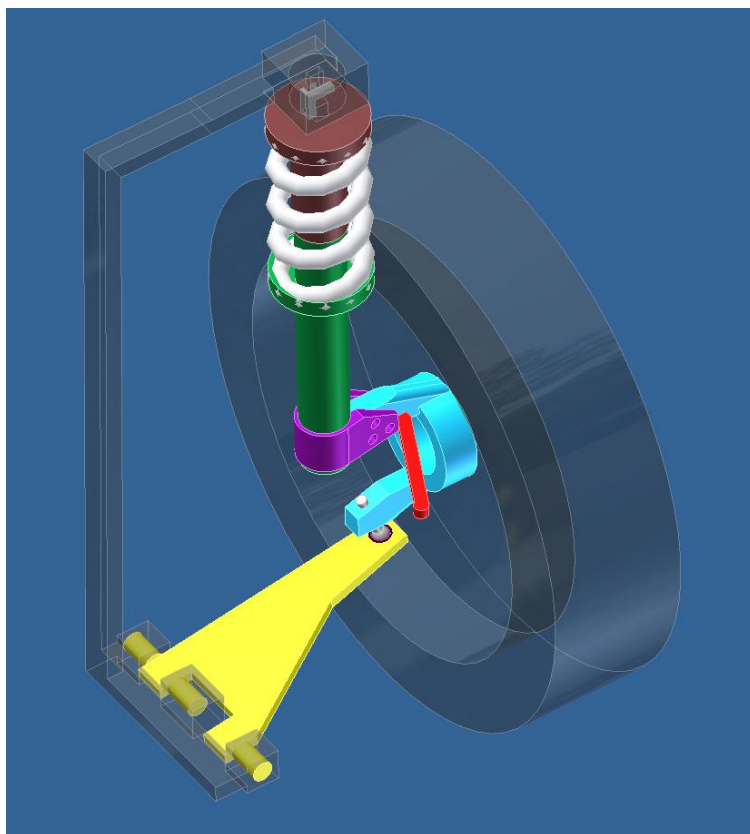
Náprava MacPherson je odvozená od nápravy lichoběžníkové. Rozdíl je u horního ramene, kde u nápravy MacPherson je horní rameno nahrazeno posuvným vedením (teleskopická vzpěra). Tím se dá získat prostor, který se dá využít například pro motorový prostor nebo zavazadlový prostor. Spodní rameno nápravy bývá trojúhelníkové. Náprava MacPherson se dá použít u přední i zadní nápravy, může být poháněná. Je-li tato náprava použita jako řídící, natáčí se kolo při řízení kolem ložiska teleskopické vzpěry. [1]

#### 3.3.1 Historie nápravy MacPherson

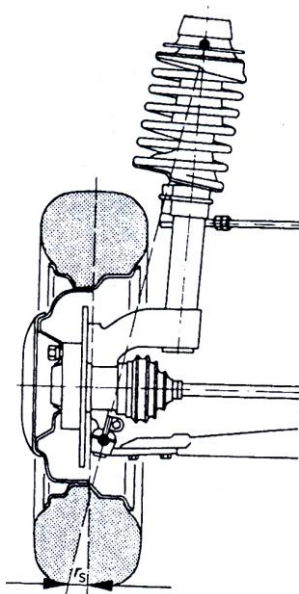
Nápravu navrhnul ve čtyřicátých letech minulého století Američan Earle Steele MacPherson (nikoliv McPherson, jak je často mylně uváděno). Earle MacPherson se narodil v roce 1891 ve státě Illinois. Během druhé světové války pracoval pro automobilku Chevrolet. Snažil se navrhnout nový menší vůz, který musel být o 10% levnější než nejlevnější Chevrolet vyráběný v té době. Tento nový vůz se měl jmenovat Chevrolet Cadet a měl přivést řadu technických vylepšení, jako například nezávislé odpružení, které bylo do té doby výsadou evropských vozů. Nicméně návrh vozu byl zastaven vedením GM a Chevroletu, které tvrdilo, že nový vůz bude příliš drahý. MacPherson proto zvolil cenově příznivější zavěšení, které později dostalo jeho jméno. Ale vývoj auta nakonec byl stejně zastaven, protože vedení GM přestalo mít o levné auto zájem. Earle MacPherson odešel k Fordu. U Fordu se Earle MacPherson podílel na vývoji nového malého Fordu s názvem Vedette, který se stal roku 1949 prvním automobilem s nápravou typu MacPherson. [11]

### 3.3.2 Konstrukce nápravy MacPherson

Schématické znázornění nápravy MacPherson je na obr. 31. Spodní rameno (žlutě zobrazeno) v dnešní době je zpravidla trojúhelníkové a je nejčastěji vyrobené z profilovaného vysokopevnostního plechu. Těhlice kola (zobrazena modře) je nejčastěji vyráběná jako výkovek. V těhlici jsou umístěna ložiska kola. Mezi těhlicí kola a spodním ramenem je kulový čep. Těhlice kola je pevně spojena se spodním vedením (zobrazeno zeleně). Na spodním vedení je pevně uchycena spodní miska pružiny. Horní vedení (zobrazeno hnědě) je spojeno s karoserií pomocí horního uložení, které se skládá z axiálního ložiska a pružného pouzdra. Zatačení nebo zajištění nápravy je zaručeno pomocí ramena řízení (zobrazeno červeně). Na konci tohoto ramena je pak kulový čep, který je spojen s řídicí tyčí. Horní vedení a dolní vedení se dohromady nazývá vzpěra MacPherson. Je to vlastně zesílený tlumič, který je schopen zachytávat i radiální síly. U ostatních náprav tlumič zachytává pouze axiální síly. Při zachytávání těchto radiálních sil vzniká v tlumiči tření, které může při malých nerovnostech zablokovat pohyb celé vzpěry a tím pádem náprava není schopná pohlcovat nerovnosti. Vozidlo pak kmitá pouze na pneumatikách. Pro snížení tření ve vzpěře MacPherson se upravuje pozice pružiny. Pružina se vyosí od osy vzpěry (viz obr. 32). Tíha auta pak působí proti radiálním silám, které působí na vzpěru. Zároveň to snižuje namáhání vzpěry. [1]



Obr. 31 Schématické znázornění nápravy MacPherson.



Obr. 32 Odklonění pružiny od osy vzpěry MacPherson. [1]

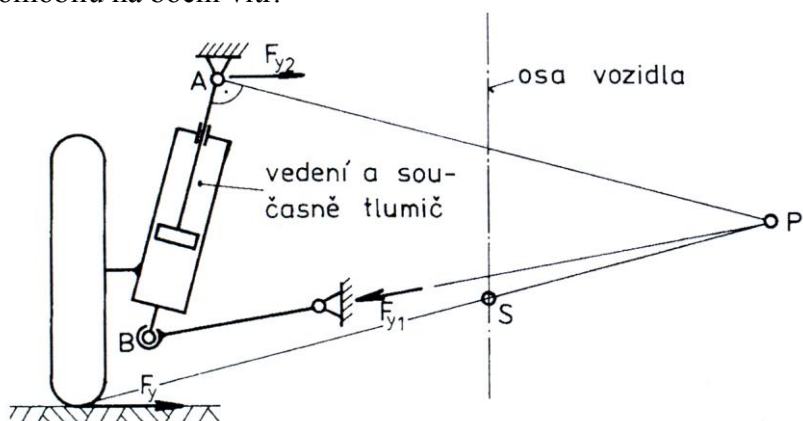


Obr. 33 Náprava MacPherson Toyota Corolla 2008. [13]

### 3.3.3 Zachycení příčné síly vznikající při zatáčení

Schématické zobrazení nápravy MacPherson je na obr. 34. Na spodní rameno a jeho uchycení ke karoserii působí větší síla než na horní uložení. Spodní rameno je namáháno na tah tlak, vzpěra je namáhána na ohyb. Vzpěra MacPherson nemůže být nikdy dokonale tuhá (nepoddajná). A to proto, že je namáhána při zatáčení na ohyb, který je z hlediska namáhání horší než namáhání na tah nebo tlak. Horní uložení je pružné a ve vedení vznikne vždy velmi malá vůle. Vedení kola potom není dokonale tuhé, v zatáčkách může vzniknout nežádoucí kladný odklon vnějšího zatíženého kola, který zvyšuje deformaci boku pneumatiky, díky tomu může vzniknout snížení

přilnavosti automobilu k vozovce (viz obr. 35). Další následek může být zvýšená citlivost automobilu na boční vítr.



Obr. 34 Zachycení síly při zatáčení a poloha středu klopení karoserie. [1]

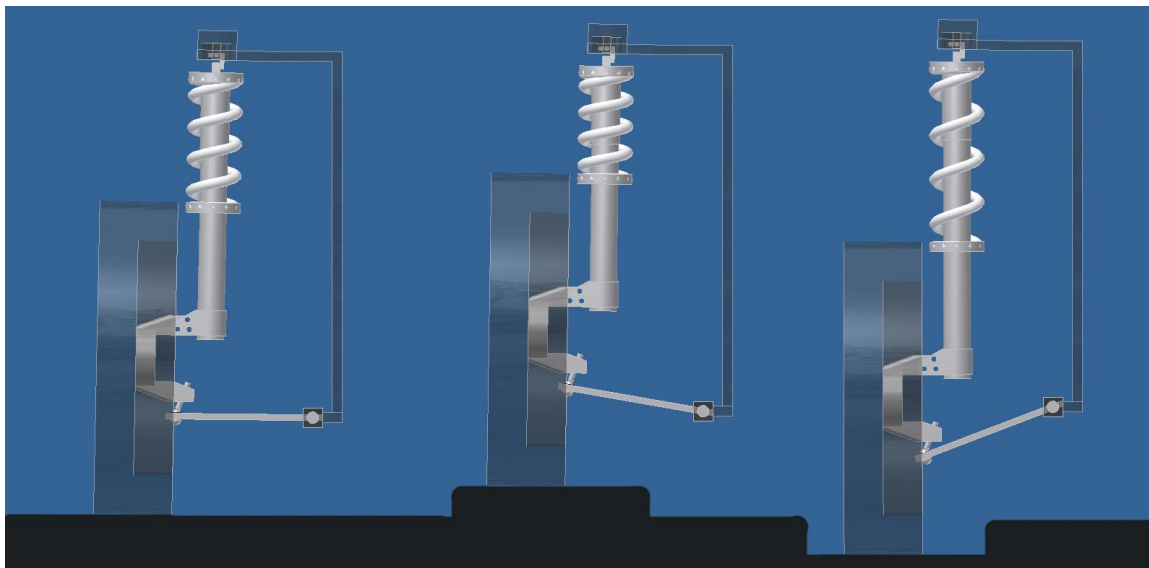


Obr. 35 Vznik nežádoucího odklonu kola. [12]

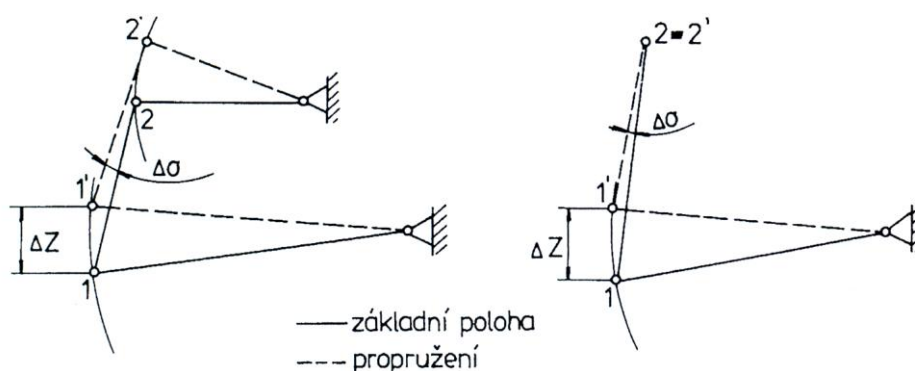
### 3.3.4. Kinematika nápravy MacPherson

Náprava při propružení mění mírně odklon kola (viz obr. 36). Pokud spodní rameno se od vodorovné polohy pohybuje směrem dolů (do silnice), kladný odklon kola se zmenšuje. Při pohybu spodního ramena od vodorovné polohy nahoru (od silnice), kladný odklon kola se zvyšuje. Proto má často náprava jako výchozí polohu spodního ramena skloněnou blíže k silnici. Největším zapružení (nejvyšší poloha nápravy) je kolem vodorovné polohy spodního ramene. Při porovnání lichoběžníkové nápravy a nápravy MacPherson zjistíme, že náprava MacPherson má zpravidla menší změnu odklonu kola (viz obr. 37).





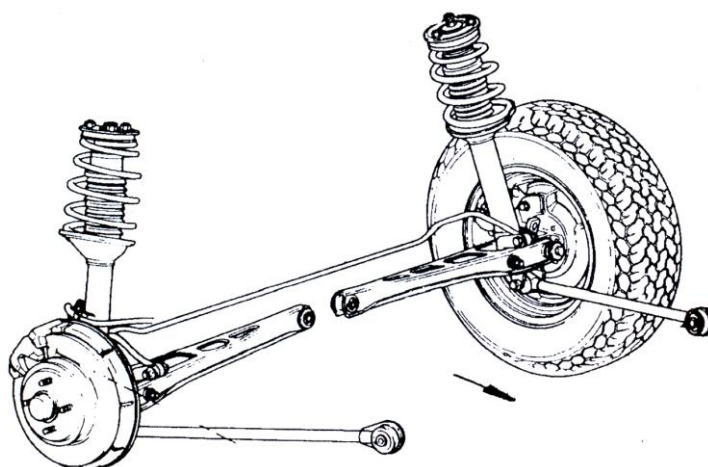
Obr. 36 Kinematika nápravy MacPherson.



Obr. 37 Změna odklonu kola při zapružení-vlevo lichoběžníková náprava, vpravo náprava MacPherson. [1]

### 3.3.5 Použití nápravy MacPherson u zadní nápravy

Při použití nápravy MacPherson u zadní nápravy odpadne horní axiální ložisko, protože jsou kola neřízená. Spodní rameno může být dlouhé, díky tomu nedochází k velké změně odklonu kola při propružení. Spodní rameno je rozděleno na dvě. Jedno zachytává podélné síly. Druhé funguje jako vlečné rameno a zachytává podélné síly (viz obr. 38). [1]



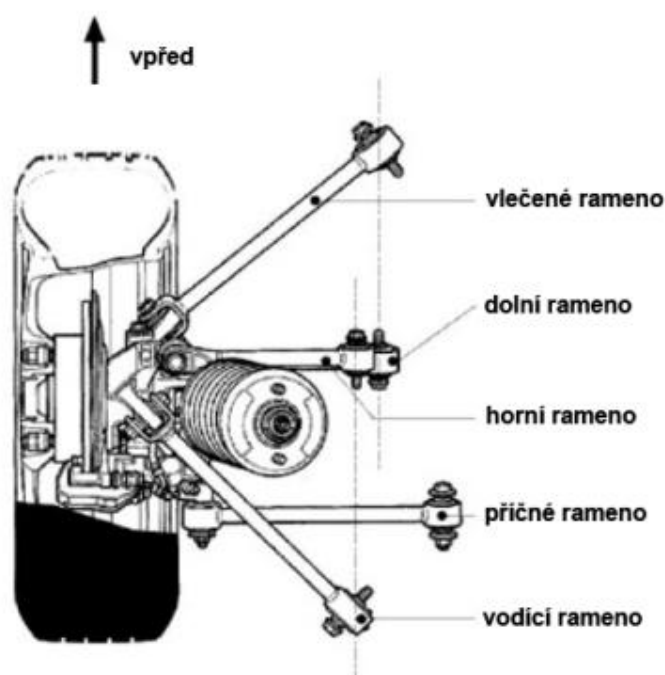
Obr. 38 Zadní nepoháněná náprava MacPherson Honda Prelude (1994). [1]

### 3.4 Víceprvková náprava

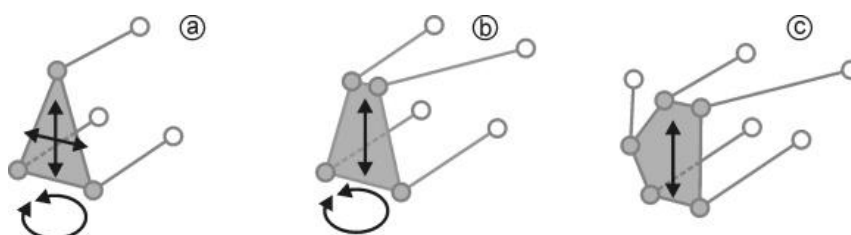
Víceprvková náprava je náprava, která se skládá z více ramen, tyčí nebo trojúhelníkových ramen. [1]

#### 3.4.1 Konstrukční řešení víceprvkové nápravy

Víceprvková náprava vznikla vlastně modifikací lichoběžníkové nápravy. Díky nevzájemnosti všech ramen nápravy může být dosaženo optimální kinematiky vedení kola (viz obr. 39). Počtem ramen a jejich polohou se dá docílit vysoké přesnosti vedení kola (viz obr. 40). Víceprvková náprava vyniká nízkou hmotností, nízkým třením, znamenitým potlačením vibrací a hluku přenášeného od vozovky. [1]



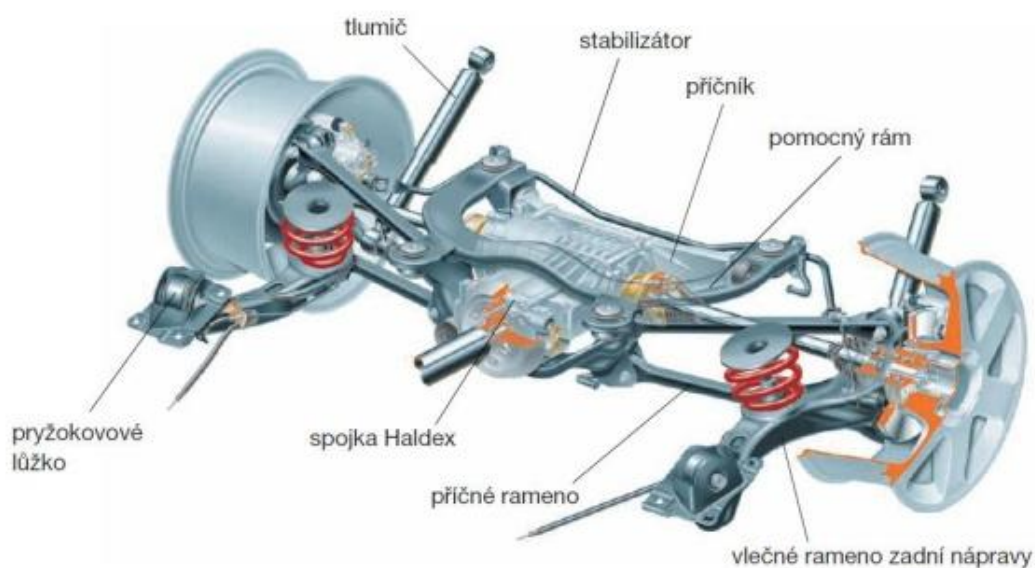
Obr. 39 Víceprvková přední náprava. [14]



Obr. 40 Vliv počtu ramen na kinematiku (přesnost vedení kola) víceprvkové nápravy  
a) 3 ramena, b) 4 ramena, c) 5 ramen. [14]

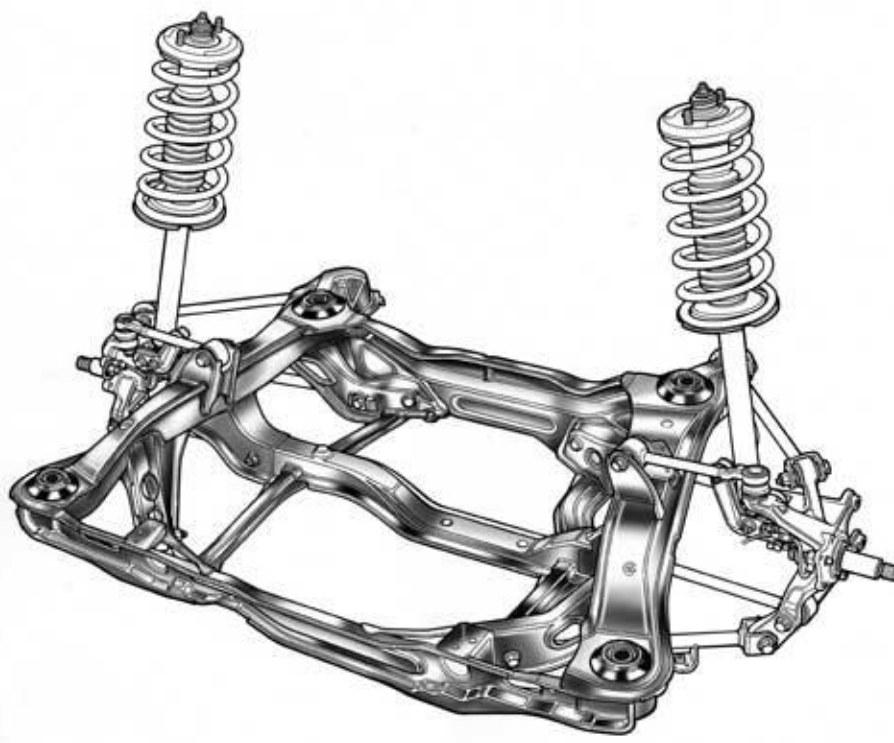
Jako příklad zavěšení víceprvkové nápravy je zavěšení zadních kol u Škody Octavia 4x4 a dnes také používané u modelu Yeti (viz obr. 41). Kola jsou uchycena pomocí dvou vlečných ramen a čtyř příčných ramen. Takové řešení dovoluje oddělení podélných a příčných sil přenášených od kol do karoserie. Zavěšení je v příčném směru velmi tuhé, což zlepšuje stabilitu jízdy v zatáčkách, ale je poměrně poddajné v podélném směru, což přispívá k vyššímu cestovnímu komfortu. Svislé síly jsou

zachyceny pružinou a tlumičem, které mohou být uloženy blízko kolům a neomezují velikost zavazadlového prostoru. Zajímavé je použití pomocného rámu, který zvyšuje tuhost uchycení příčných ramen. [1]



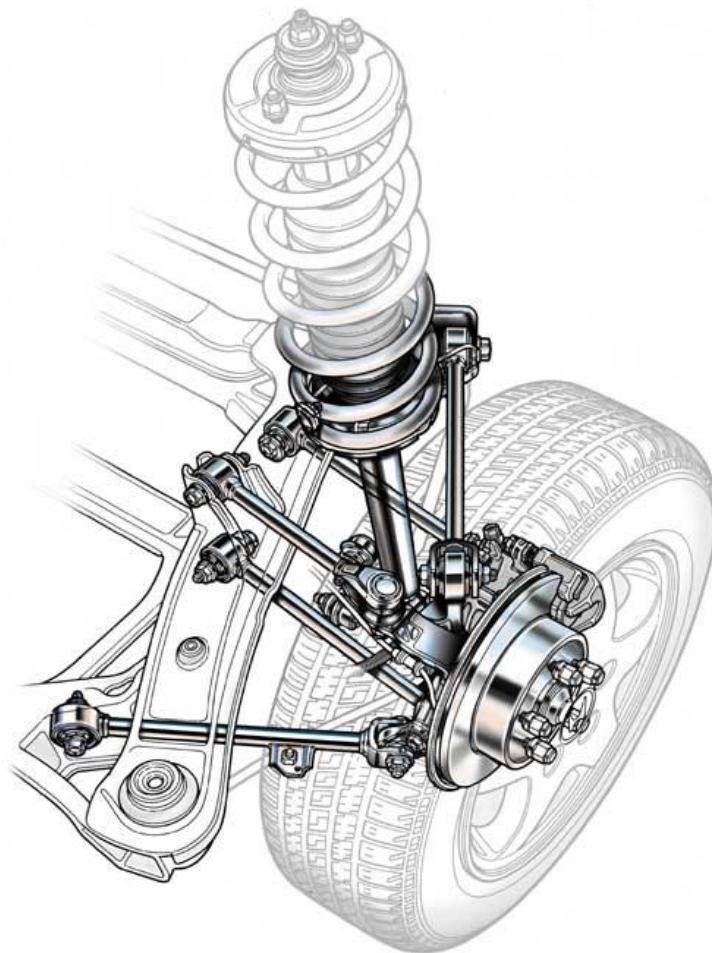
*Obr. 41 Víceprvková zadní náprava Škoda Octavia 4x4. [14]*

Víceprvková náprava je náročnější na konstrukci. Obr. 42 ukazuje složitost a prostorovou náročnost uchycení víceprvkové nápravy ke karoserii. Důležitá je také tuhost karoserie v místech, kde jsou ramena uchycena. Navíc je bodů uchycení více a jsou daleko od sebe (např. v porovnání s nápravou MacPherson). To má za následek vyšší náklady na výrobu, proto se víceprvková náprava používá u dražších modelů aut.



*Obr.42 Rám sloužící k uchycení víceprvkové nápravy. [8]*

Zadní nápravu, která se skládá z pěti ramen používá například Honda Accord. Takové zavěšení zajišťuje precizní vedení kola a umožňuje dokonalého vyladění podvozku, aby splňoval dobrý dynamický charakter vozu a zároveň byl i komfortní (viz obr. 43).



*Obr. 43 Zadní náprava, Honda Accord. [8]*

Víceprvkové zavěšení dnes s oblibou na zadní nápravě používá i firma BMW (viz obr. 43). Podélná i příčná ramena jsou uložena v tuhé nápravnici, což zvyšuje tuhost zavěšení.



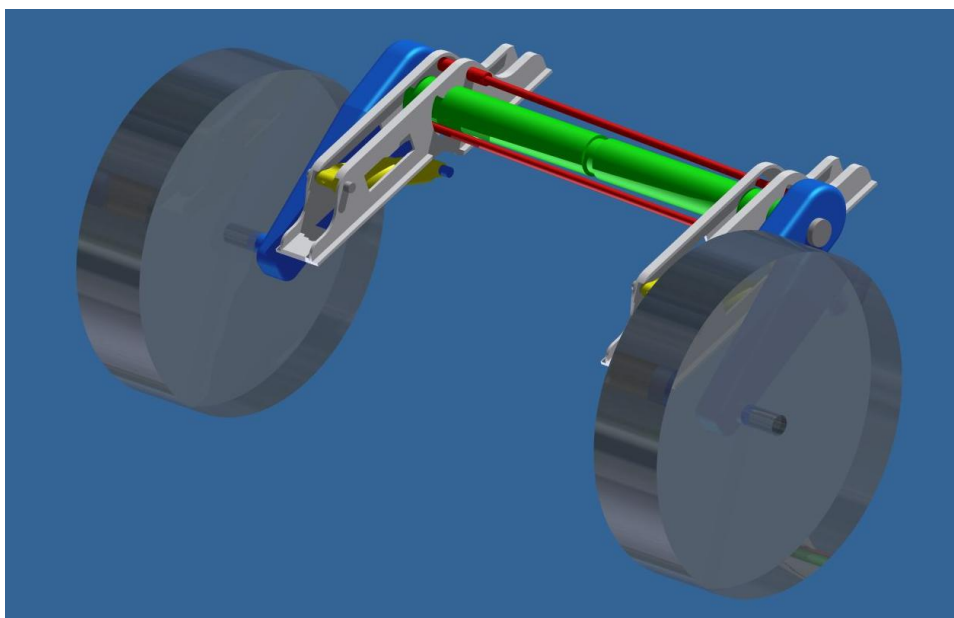
*Obr. 43 Zadní zavěšení BMW. [15]*

### 3.5 Kliková náprava

Kliková náprava se skládá ze dvou podélných ramen, které mají příčnou osu kývání. Tento typ nápravy se používá na zadní nápravě jako vlečná nepoháněná náprava. Kliková náprava zabírá relativně málo místa. Díky tomu zavazadlový prostor automobilu může mít nízko položenou rovnou podlahu. Pro co nejnížší prostorovou náročnost nápravy je tato náprava často odpružená pomocí příčných torzních tyčí. Další výhodou této nápravy je v dobrém poměru odpružených hmot ke hmotám neodpruženým a tím pádem je tato náprava relativně komfortní. Náprava je nenáročná na údržbu, nevznikají v ní téměř žádné vůle. Při zatížení nápravy může být v zatáčce cítit průhyb a kroucení ramena kliky nápravy. Nepříjemně se to může projevit při změně rychlosti v zatáčce, kdy při zrychlování může být průhyb jiný než při zpomalování. Náprava většinou dobře vede směr při přímé jízdě. [1]

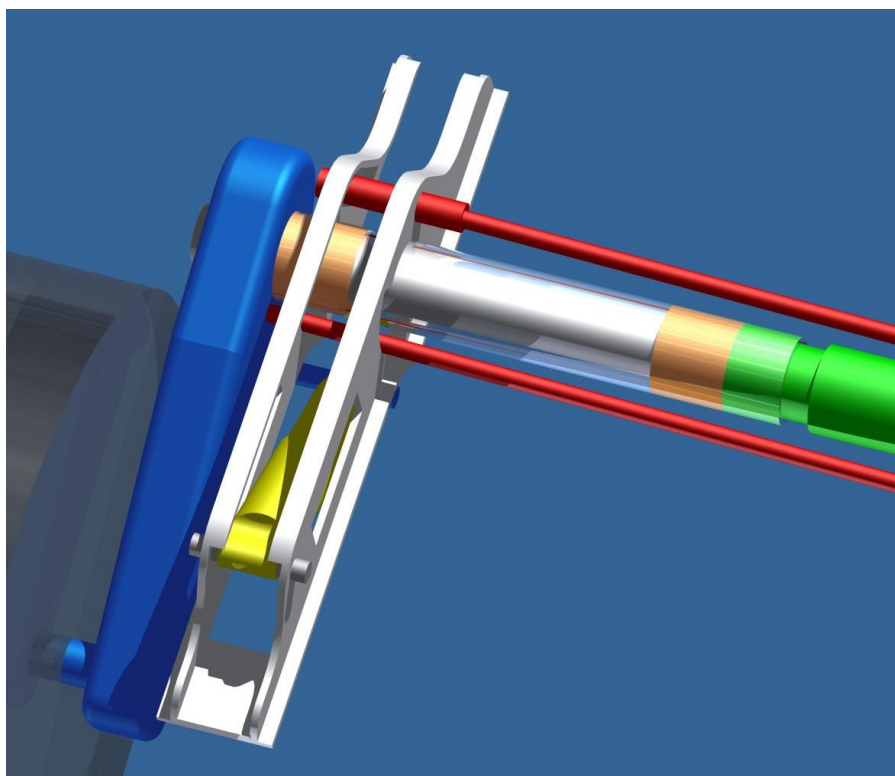
#### 3.5.1 Konstrukční řešení klikové nápravy

Na obr. 44 je pohled na klikovou nápravu, která je v tomto případě odpružena pomocí torzních tyčí. Z plechu jsou vyrobeny držáky nápravy (na obrázku jsou zobrazeny bílou barvou), které se pak přes silentbloky upevní k podlaze automobilu. Napříč je mezi držáky nápravy umístěna příčná dělená trubka (zobrazena zeleně), ve které jsou umístěna ložiska. Okolo těchto ložisek se otáčí čep, který je napevno spojen s klikovým ramenem nápravy (zobrazeno modře). Klike ramena nápravy je odpružena pomocí torzní tyče (zobrazena červeně). Torzní tyč je pevně uchopena ke klince ramena nápravy a na druhé straně je pevně uchopena v plechovém držáku nápravy. V tomto případě je torzní tyč namáhána i mírně na ohyb. Tlumič (zobrazen žlutě) je jedním koncem uchycen ke klince ramena nápravy a druhým koncem k držáku nápravy. Pro co nejnížší prostorovou náročnost nápravy je tlumič nestandardně uchycen pod velkým úhlem, vzhledem k silnici. Mezi držáky nápravy se často umísťuje nádrž na palivo.

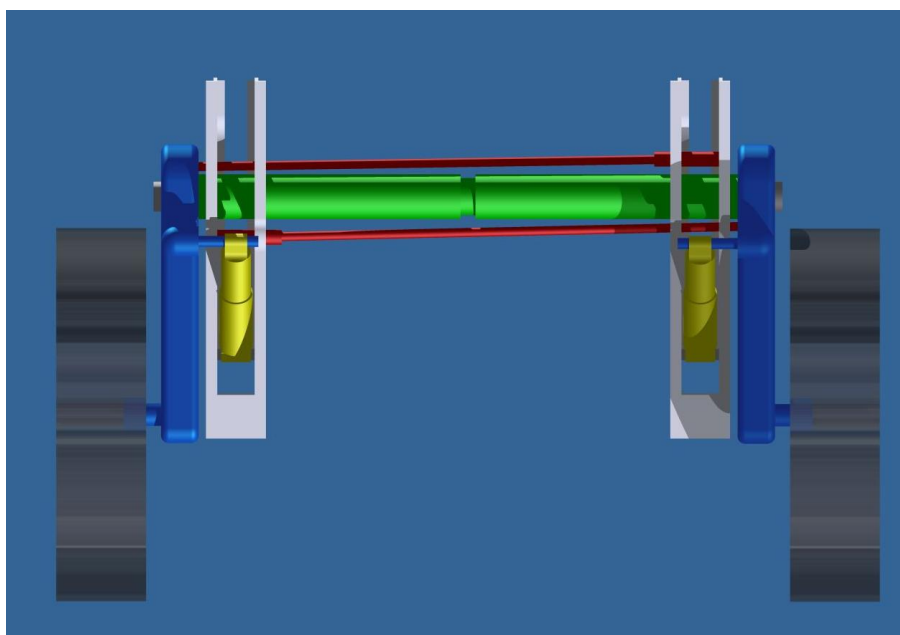


*Obr. 44 Schématické zobrazení klikové nápravy.*





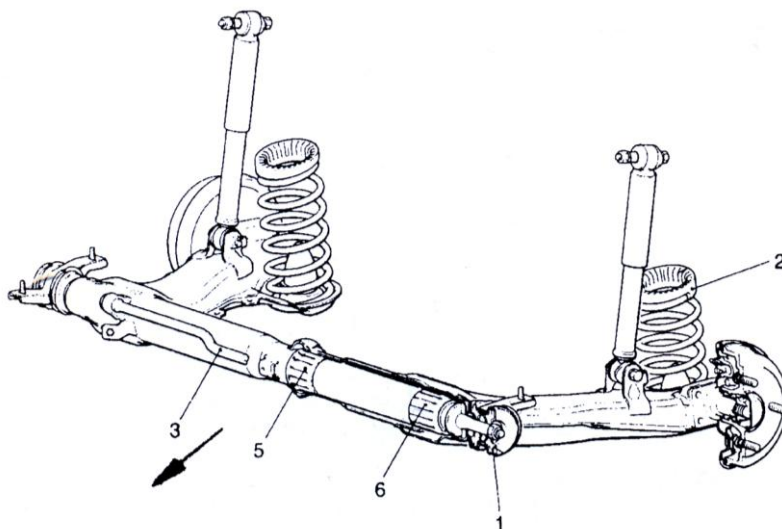
*Obr. 45 Detail na uložení ložisek nápravy (ložiska zobrazena oranžově).*



*Obr. 46 Pohled zespodu na klikovou nápravu.*

Příklad provedení klikové nápravy s vinutými pružinami je na obr. 47. Podélná ramena jsou svařena s příčnými trubkami, které jsou navzájem posunuty do sebe. Tato ramena jsou otočně uložena na kluzných ložiskách (pro levé rameno pozice 5 a 6). Boční pohyby zachycuje uložení (pozice 1). Tato náprava má jen dva otočné body. Vinuté pružiny jsou uloženy velmi nízko a o karoserii se opírají pryžovými kroužky

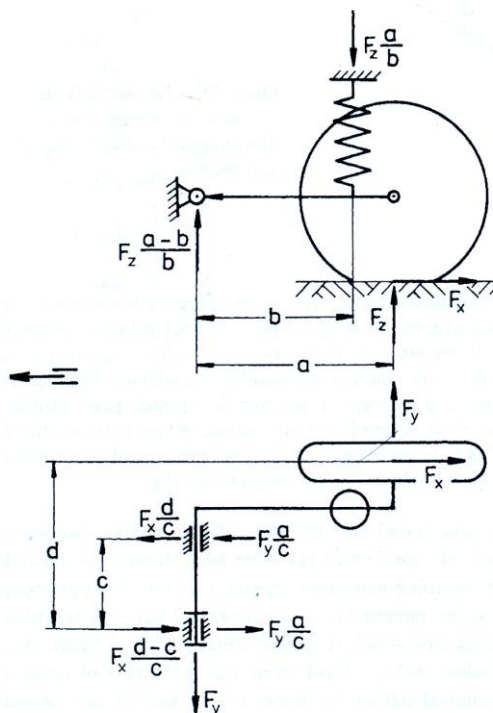
(pozice 2). Krátký stabilizátor (pozice 3) je uchycen k levé a pravé trubce svými konci a mezi podlahou vozu svým středem. [1]



Obr.47 Zadní kliková náprava Mitsubishi Colt. [1]

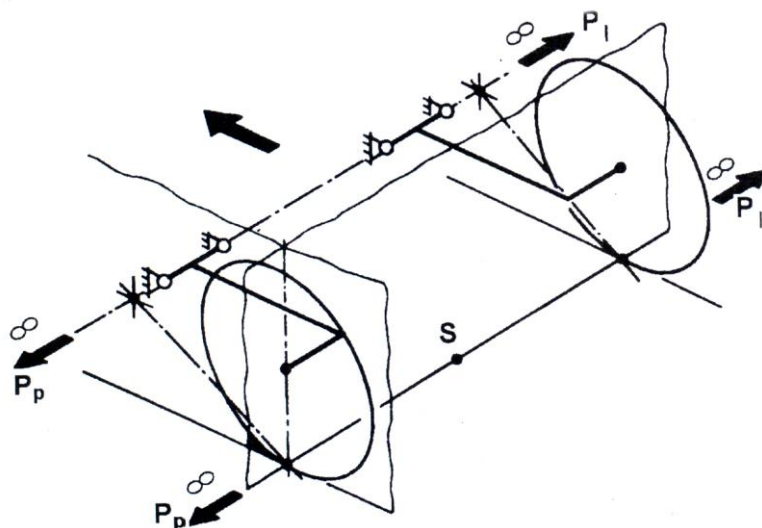
### 3.5.2 Působení sil na klikovou nápravu

Na obr. 48 jsou znázorněny síly, které vznikají při jízdě. Síla  $F_x$  při brzdění, síla  $F_y$  při pohybu vozidla v zatáčce, síla  $F_z$  vzniká od zatížení vozidla a při tlumení nerovností. Konstrukčním opatřením můžeme ovlivňovat zatížení ložisek. Ke snížení namáhání ložisek se vozidlové pružiny posouvají co nejblíže k dotykovému bodu kola s vozovkou (optimálně vzdálenost  $a = b$ ). Zvětšením vzdálenosti  $c$  mezi ložisky se zmenší vodorovné zatížení ložisek.



Obr. 48 Působení sil na klikové nápravě. [1]

Středy klopení kola jsou v nekonečnu, střed klopení karoserie je proto na vozovce (viz obr. 49). Tato náprava má velkou tendenci k naklápění karoserie při pohybu vozidla v zatáčce. [1]

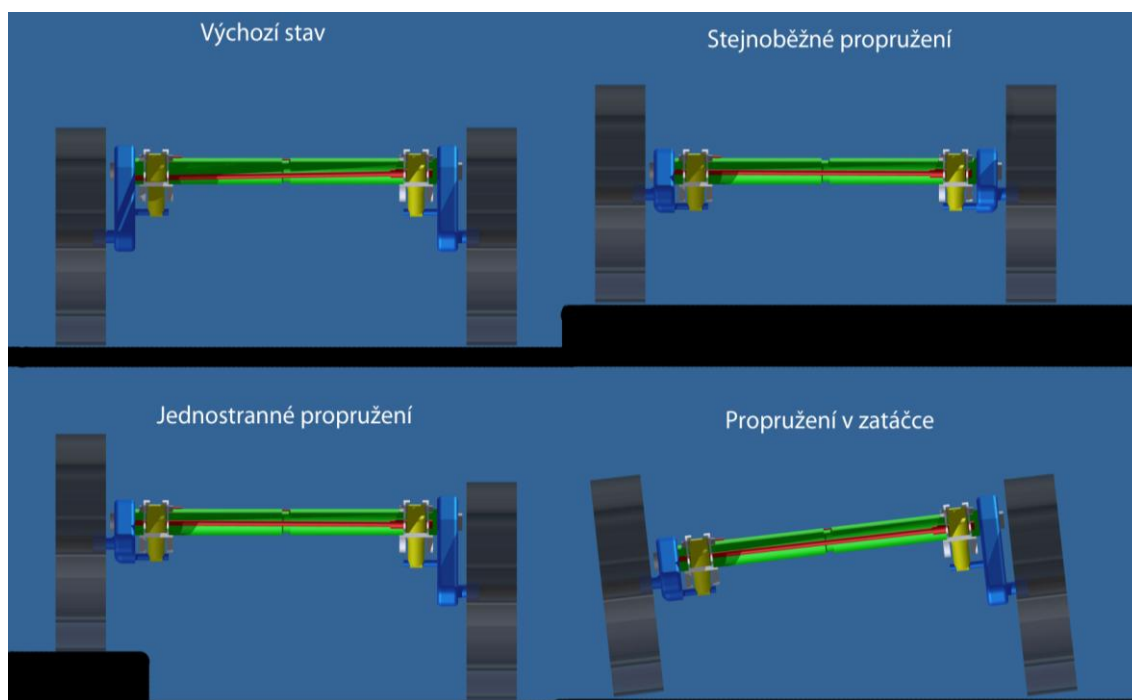


Obr. 49 Konstrukce středu klopení klikové nápravy. [1]

### 3.5.3 Kinematika klikové nápravy

Kliková náprava během propružení nemění odklon kola vůči karoserii (viz obr. 50). Toto je výhodné při přímé jízdě. Při jízdě automobilu v zatáčce se vlivem naklonění karoserie změní postavení kol vzhledem k silnici. Vznikne velký kladný odklon kola, který je nevýhodný (viz obr. 51). Navíc kliková náprava má v porovnání s jinými provedení náprav, větší klopení karoserie. V zatáčce kliková náprava dále může trpět dalším zvětšením kladného odklonu kola, pokud nemá úplně tuhé klikové rameno, které se může kroutit. Dále rameno pokud není dostatečně tuhé a může se ohnout při působení příčné síly v zatáčce (která vzniká pokud se automobil pohybuje v zatáčce), vznikne samořízení. Kvůli těmto nárokům na tuhost klikového ramena se náprava nejčastěji používá u lehčích typů vozů.





*Obr .50 Kinematika klikové nápravy.*

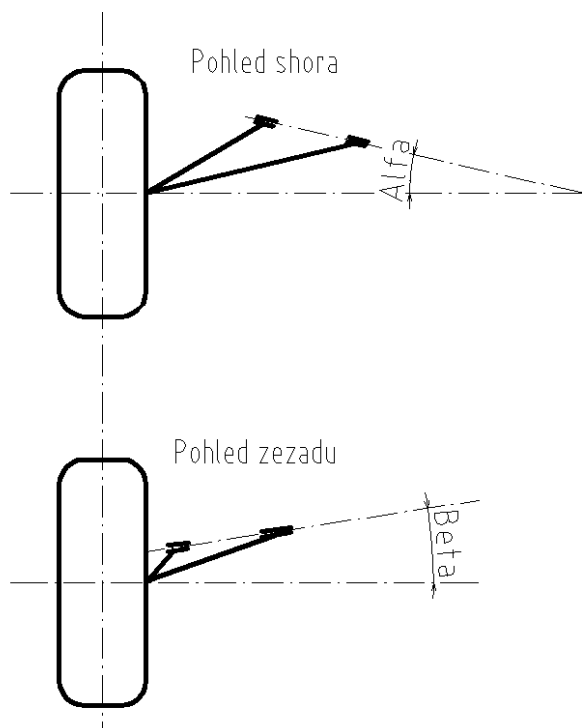


*Obr.51 Postavení kol klikové nápravy v zatáčce.*

### 3.6 Kyvadlová úhlová náprava

Kyvadlová úhlová náprava se používá jako náprava zadní. Vychází z klikové nápravy. Osa kývání ramene je při pohledu shora na nápravu šikmá, proto se této nápravě také říká šikmo vlečená či úhlová náprava nebo šikmý závěs. Většinou je osa kývání také šikmá i při pohledu na nápravu zezadu. Proto vzniká při propužení samořízení, která má na chování automobilu v zatáčkách nedotáčivý účinek. Proto se tato náprava nejčastěji používá jako hnací. [1]

Na obr. 52 je schéma kyvadlové nápravy. Velikost úhlu alfa ovlivňuje změnu odklonu během propužení. Velikost úhlu beta ovlivňuje změnu sbíhavosti během propužení.

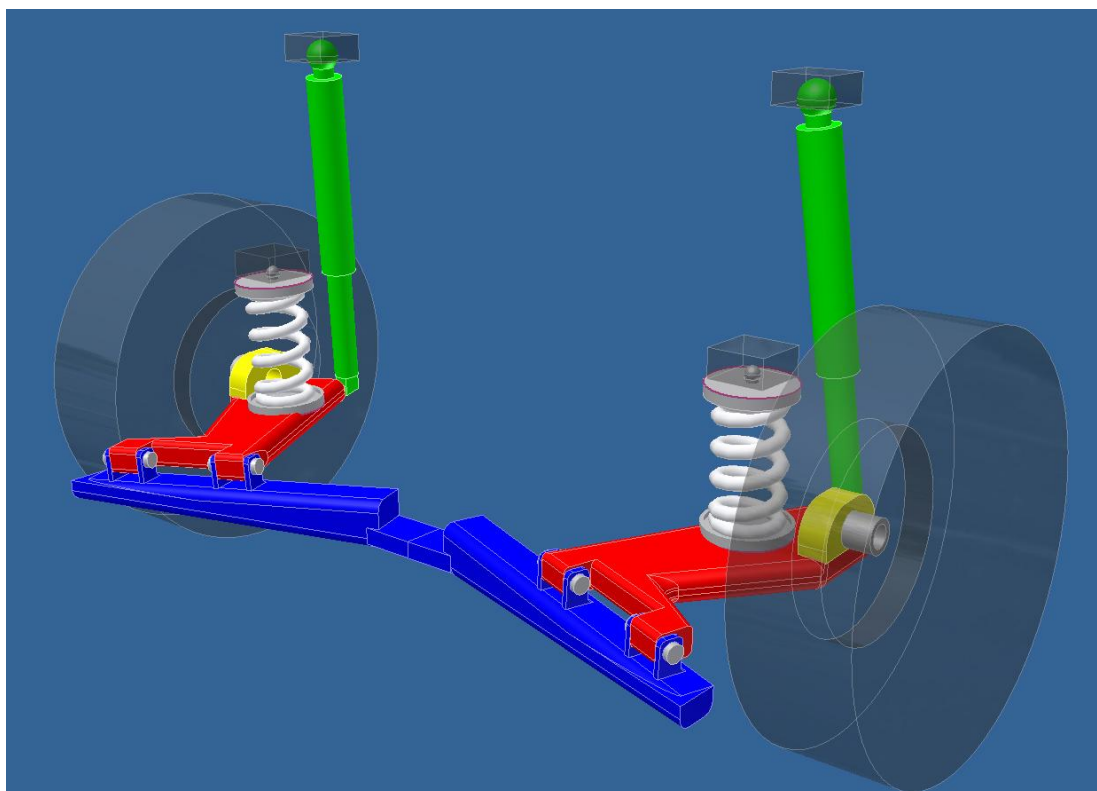


Obr. 52 Schéma kyvadlové úhlové nápravy.

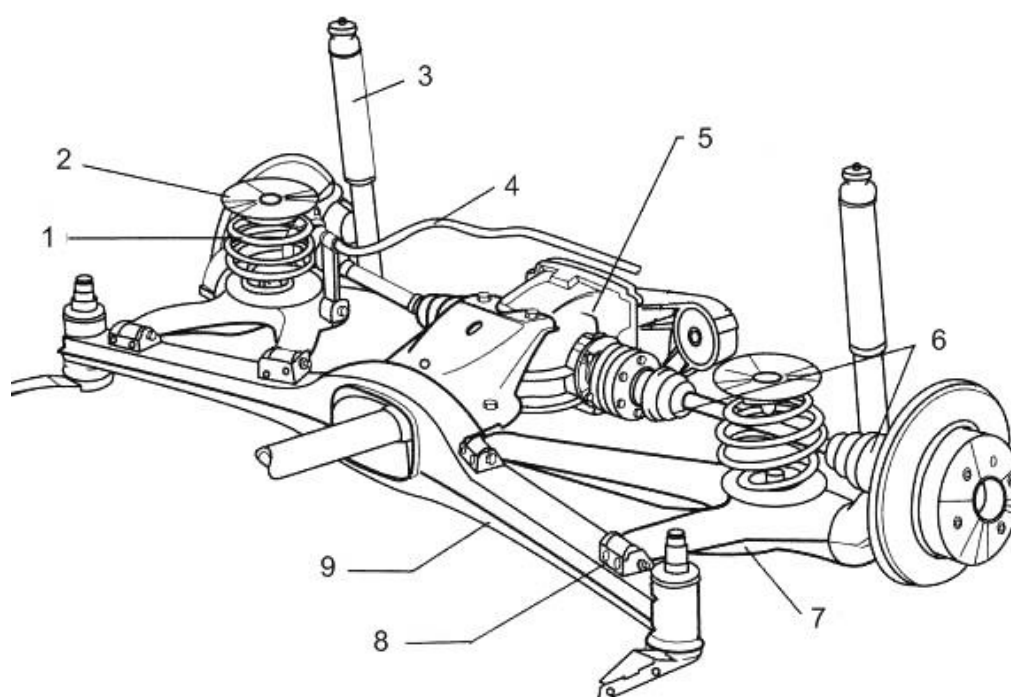
### 3.6.1 Konstrukční řešení kyvadlové úhlové nápravy

Úhlová náprava je schématicky zobrazena na obr. 53. Příčně uložená nápravnice (zobrazena modře) je přes silentbloky uchycena k automobilu. K nápravnici jsou přes čepy uchyceny vlečná ramena. Těhlice kola (zobrazena žlutě) může být součástí ramen. Ramena jsou odpružena pomocí vinuté pružiny (zobrazena bíle). Na konci ramen jsou přichyceny tlumiče (zobrazeny zeleně). Výhoda v konstrukci této nápravy je, že zde není použit ani jeden kulový čep. Náprava ale nesmí být použita jako řídící.

Na obr. 54 je příklad provedení úhlové nápravy.



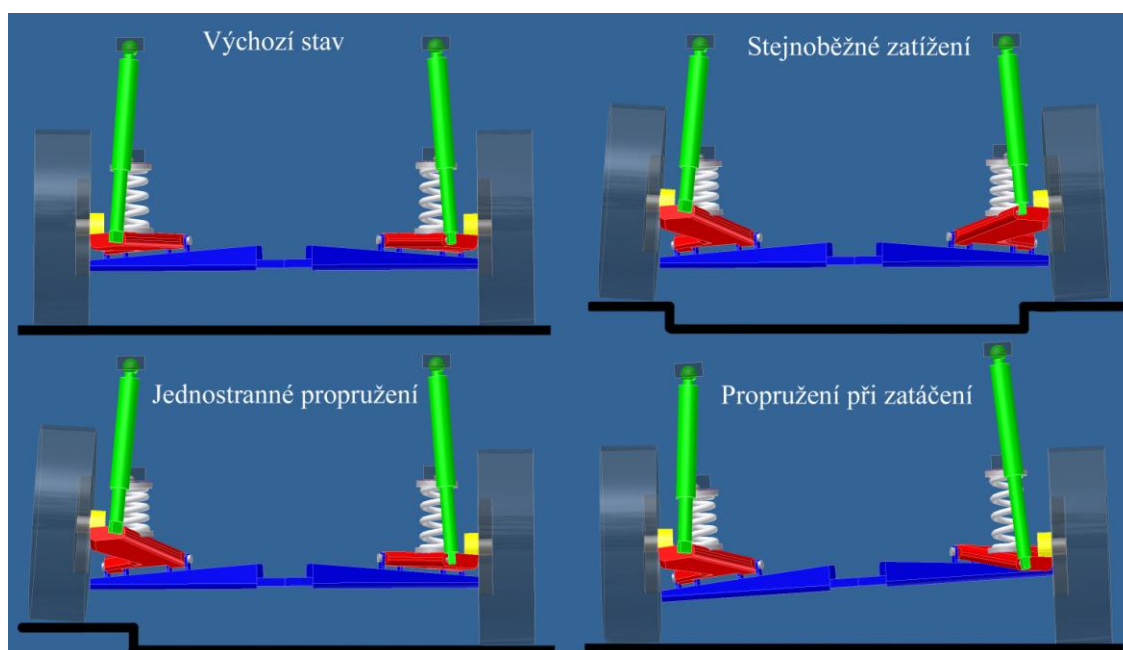
Obr. 53 Pohled na schématicky zobrazenou úhlovou nápravu.



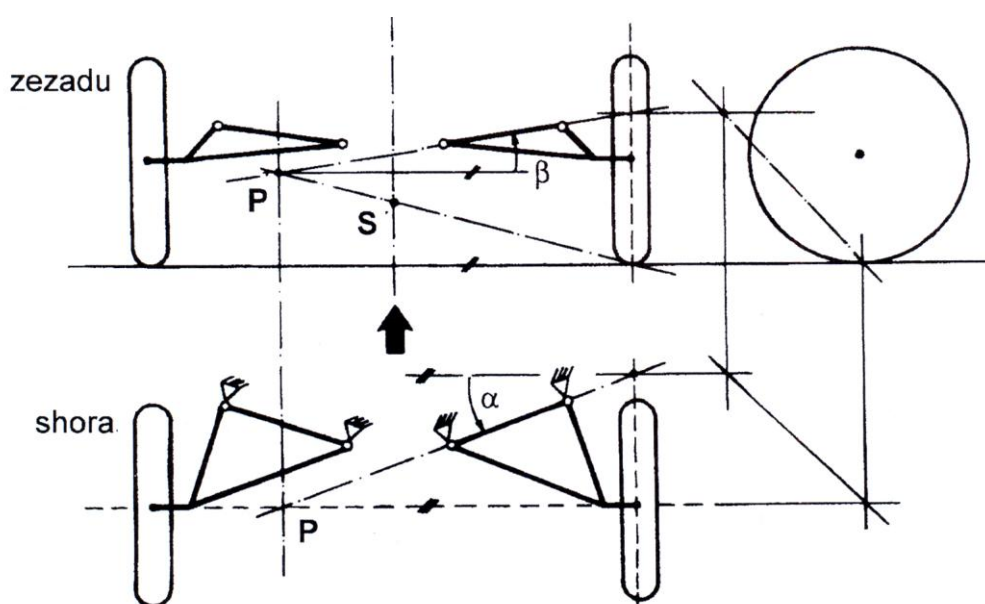
Obr. 54 Úhlová zadní náprava BMW řady 3 (1994). 1 – vinutá pružina, 2 – horní opěra pružiny, 3 – tlumič, 4 – torzní stabilizátor, 5 – rozvodovka, 6 – klouby poloosy, 7 – vlečené rameno, 8 – úchyt vlečného ramene, 9 – nápravnice. [16]

### 3.6.2 Kinematika úhlové nápravy

Na obr. 56 je znázorněná kinematika úhlové nápravy. Při zapružení se mění odklon kol i sbíhavost kol. Pokud je automobil v zatáčce, tak zatížené vnější kolo získá záporný odklon kola, tím pádem zůstane kolo kolmo k vozovce. Velikost změny úhlu příklonu se dá ovlivnit úhlem  $\alpha$  (viz obr. 52). Kolo zároveň získá větší sbíhavost, takže kolo směřuje do středu auta. Tímto vzniká malé samořízení, které směřuje zád automobilu ke středu zatáčky a omezuje tím přetáčivost. Naproti tomu odlehčené vnitřní kolo získá kladný odklon kola a rozbíhavost. Díky tomu odlehčené vnitřní kolo také míří do středu zatáčky. Proto se tato náprava nejvíc používá u aut, které mají motor vpředu a náhon na zadní kola. U tohoto uspořádání trpí automobil totiž větší přetáčivostí. Nevýhoda této nápravy je při stejnoběžném zatížení, které vzniká například při naložení automobilu. Kola získají větší sbíhavost a záporný odklon kola. Dochází pak k většímu opotřebování pneumatik.



Obr. 55 Kinematika úhlové nápravy.



Obr. 56 Sestrojení okamžitého pólu klopení karoserie S. [1]

### 3.7 Zadní nápravy s torzně propojovacím prvkem

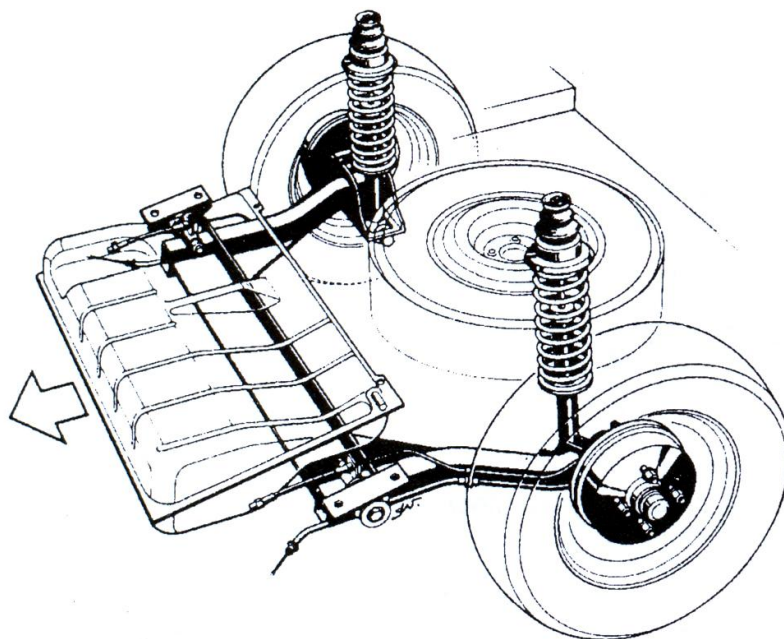
Tyto nápravy jsou spojeny torzní příčkou, která je na ohyb nepoddajná a na krut poddajná. Proto se dá říct, že tyto nápravy jsou přechodem mezi tuhým a nezávislým zavěšením. Toto řešení si z tuhého zavěšení částečně přebírá stálé postavení kol vůči vozovce při propnutí v zatáčce. Z nezávislého zavěšení si částečně přebírá neovlivnění kol při protiběžném propnutí. Ale také si přebírá z tuhého zavěšení nežádoucí vlivy jako samořízení a většinou nemá takový komfort odpružení jako čistě nezávislá náprava.

#### 3.7.1 Kliková náprava s torzně propojovacím prvkem

Jako nejčastěji používaná zadní náprava se dnes používá kliková náprava s torzním propojovacím prvkem. Vychází z klikové nápravy, takže je prostorově nenáročná. Nejčastěji se používá u malých vozů, typu hatchback, kde má vůz díky této nápravě nízko položenou nákladovou hranu do zavazadlového prostoru a rovné dno. Vozy typu hatchback mají většinou nejvíce hmotnosti rozložené na přední nápravě a proto jsou tyto vozy jsou předurčeny k silné nedotáčivosti. Podélná ramena nápravy jsou spojena ohybově tuhými příčkami, která je ale na krut poddajná. Díky tomu funguje tato příčka jako stabilizátor, který v zatáčkách přenáší zátěž i na zadní nápravu a odstraňuje nedotáčivost. Jako propojovací prvek se často používá otevřená příčka s průřezem tvaru U. [1]

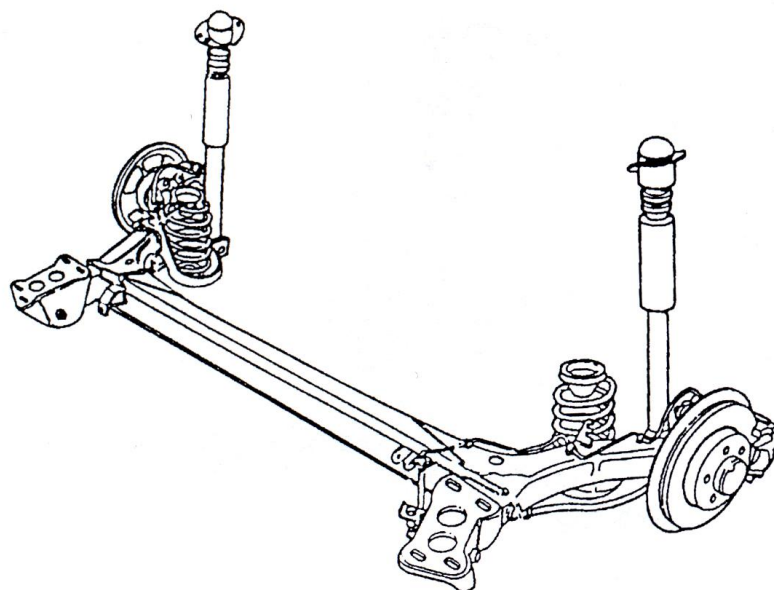
Výhody nápravy jsou snadná montáž a demontáž celé nápravy. Jednoduché upevnění pružících a tlumících teleskopických vzpěr. Má velmi málo konstrukčních dílů, malou změnu sbíhavosti, rozchodu a odklonu kol. Má výhodnou polohu středu klonění, která zmenšuje zvedání zadě při brzdění (viz obr. 60). Jako nevýhody lze považovat citlivost na boční vítr a přetáčivé samořízení (viz obr. 59), vysoké namáhání nápravy a tím omezené přípustné zatížení nápravy. [1]

Jedna z prvních náprav tohoto typu byla použita na VW Golf 1 generace (viz obr. 57). Na obr. 58 je pak poslední generace této nápravy. Změnila se ložiska uchycení nápravy, aby náprava netrpěla samořízením. [1]

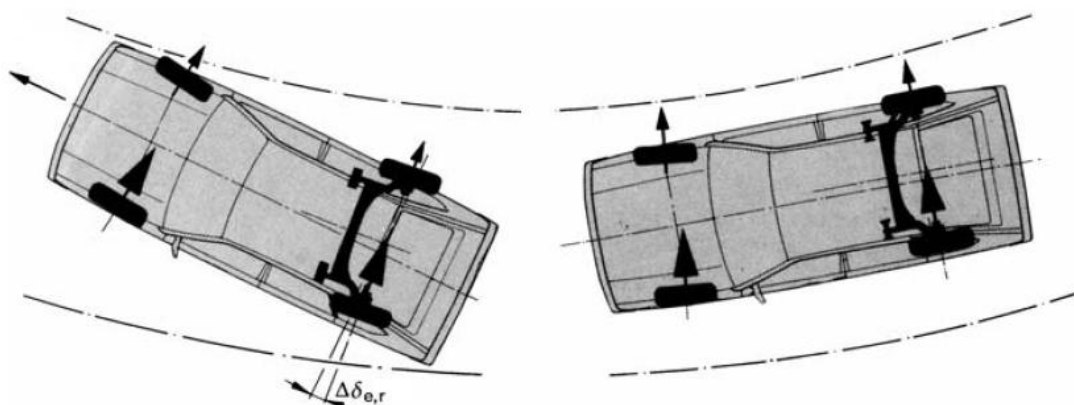


Obr. 57 Kliková náprava s torzním prvkem VW Golf (1974). [1]

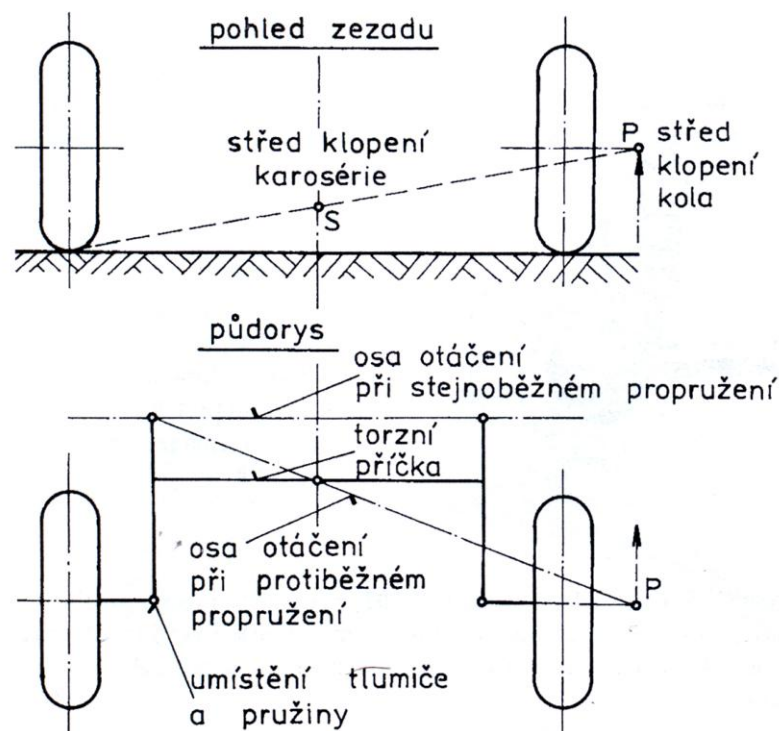




*Obr. 58 Zadní kliková náprava s propojovacím prvkem koncernu VW, použitá například u Škody Octavii (1996). [1]*



*Obr. 59 Vznik samořízení v zatáčce. [17]*

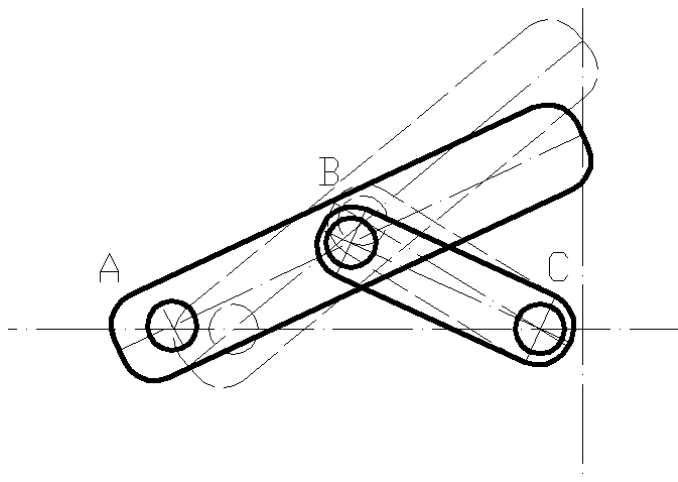


Obr. 60 Schéma klikové nápravy s propojovacím prvkem a konstrukce středu klopení.[1]

### 3.7.2 Zadní náprava Nissan Multi-link

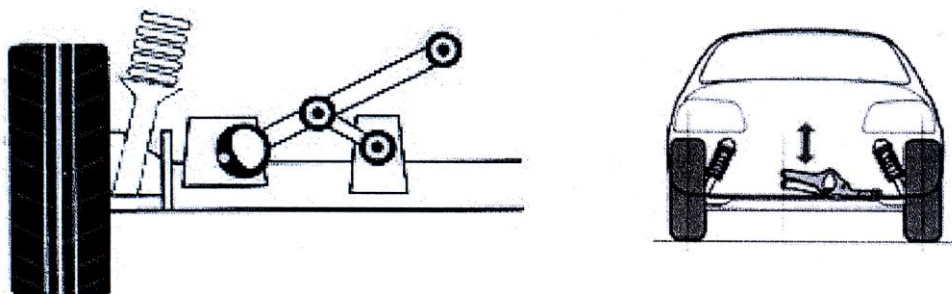
Lepší vlastnosti vedení kola, než kliková náprava s torzním propojovacím prvkem, má víceprvková náprava Nissan multi-link, která je příčně ustavená Scott-Russelovým mechanismem (viz obr. 61). Tato náprava také používá torzní příčku, která je zde tvaru převráceného U. Tato příčka je zde přesně mezi koly, při pohledu shora. Příčka je podélně ustavena párem relativně lehkých vodících ramen a na svých vnějších koncích odpružena vinutými pružinami s tlumiči. Proto je tato náprava moderní varianta tuhé nápravy. Klasická tuhá náprava bývá zpravidla zavěšená na dvou podélných táhlech a příčně ustavená šikmo položenou panhardskou tyčí. Ta spojuje nápravu s karoserií a zachycuje příčné síly, které během jízdy na vůz působí. Má však tu nevýhodu, že je její délka konstantní a tak se každý pohyb karoserie do určité míry přenáší i na postavení kol. To se samozřejmě projevuje nepříznivě na jízdních vlastnostech automobilu. Místo nevyhovující panhardské tyče se na zadní nápravě Nissan multi-link používá soustava dvou vhodně uložených pák, která je známa pod názvem Scott-Russellův mechanismus. Kloub delšího ramena nápravy není – na rozdíl od panhardské tyče – pevný. Jeho speciální elastické pouzdro dovoluje posuv v příčném směru. Oproti konstrukci tuhé nápravy s panhardskou tyčí náprava Nissan multi-link nepřipustí, aby při pohybech karoserie, kola měnila svoji kolmou polohu k vozovce. I při rychlém průjezdu zatáčkou (vlivem odstředivé síly provázeným náklonem karoserie) zůstávají kola stále kolmá k vozovce. Neomezí se tak její schopnost přenosu jak podélných, tak příčných sil, která zajišťuje vysokou stabilitu jízdy bez negativního vlivu na komfort. Navíc se při propérování neprojevuje příčné posunutí celé nápravy, což je běžná negativní vlastnost klasické tuhé nápravy. Malé výchylky karoserie ve svislém směru dokonce potlačují klopný moment, což patří k dalším příznivým vlastnostem získaným nápravou Nissan multi-link. A v neposlední řadě toto řešení dovoluje použít významně menší tlumiče pérování, protože svislé pohyby kol bez naklánění už

nenamáhají tlumiče šikmými silami jako u tradiční nápravy, ale prakticky jen silami působícími v ose tlumiče. To znatelně snižuje prostorové nároky nápravy a dovoluje zvětšit prostor pro posádku a zavazadlový prostor. Jako nevýhodu této nápravy lze považovat vyšší konstrukční složitost a vyšší ovlivnění kol při propuštění než u klikové nápravy s torzním propojovacím prvkem. [1]



*Obr. 61 Mechanismus Scott-Russell.*

Princip Scott-Rusellova mechanismu je zobrazen na obr. 62. Využívá dvou otočných kloubů B a C a jednoho posuvného a otočného (bod A). Konec delšího ramena, které je uchopeno body A a B, opisuje svislou přímku. Tato svislá přímka pak znázorňuje pohyb torzní příčky, která se může pohybovat jen svisle.



*Obr. 62 Schéma nápravy Nissan multi-link s mechanismem Scott-Russell. [1]*





*Obr. 63 Pohled na zadní nápravu Nissan Multi-link s mechanismem Scott-Russel.*

Při porovnání zadní klikové nápravy s torzním propojovacím prvkem a nápravy Nissan Multi-link z hlediska kinematiky, lze usoudit chování těchto náprav v zatáčce podle pozice torzního propojovacího prvku. Kliková náprava s torzním propojovacím prvkem se v zatáčce chová spíše jako kliková náprava. Náprava Nissan Multi-link se v zatáčce chová spíše jako tuhá náprava (viz obr. 64).



*Obr. 64 Chování zadní nápravy v zatáčce, vlevo Nissan Primera (1999), vpravo Škoda Octavia (1996.) [18][19]*

### 3.8 Náprava Citroën 2CV

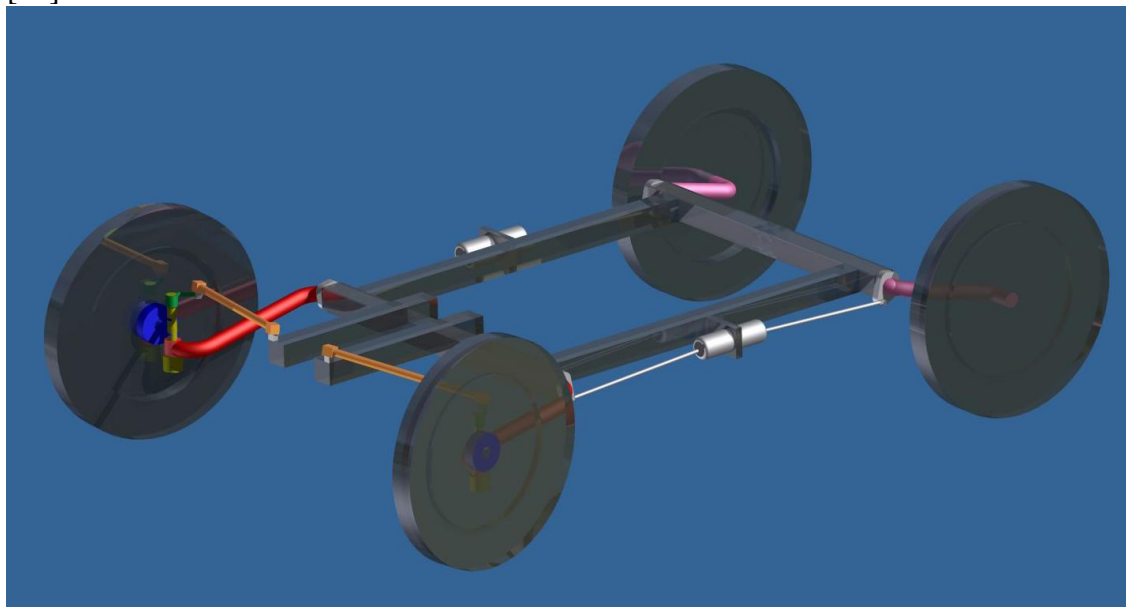
Konstruktor Pierre-Jules Boulanger měl ve třicátých letech navrhnout automobil, který převezme dva cestující a 100 kg nákladu rychlostí 60 km/h, nespotřebuje více než 5,5 litrů benzínu na 100 km a přitom bude levný.

První prototypy byly vyrobeny a připraveny na výstavu již v roce 1939, ale druhá světová válka výrobu automobilu odsunula. Po válce vzrostl zájem o lidové vozy a tak značka Citroën obnovila svůj předválečný koncept. V roce 1948 na světovém autosalonu v Paříži představila vůz Citroën 2CV.

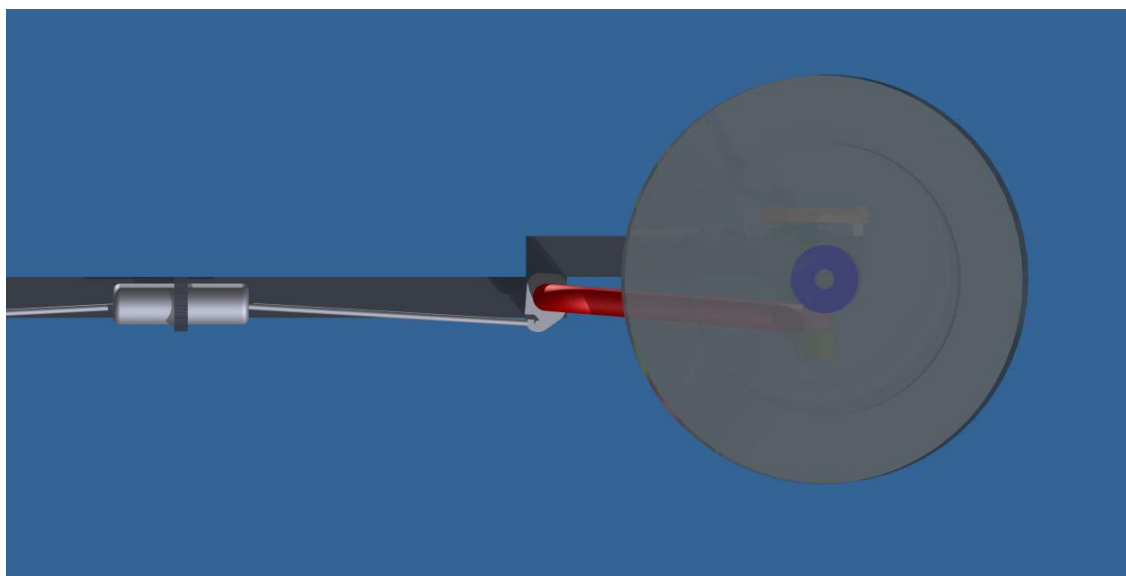
Konstruktor měl ještě další cíl. Automobil musel být tak prostorný, aby se za volant vešel, aniž by si musel sundat svůj rozměrný klobouk. Další kritérium bylo, aby musel být automobil schopný převést košík plný vajec po typickém francouzském poli. Bylo velmi těžké zkonstruovat automobil, který je levný a zároveň dobře odpružený. I přes to automobil dostal automobil nezávislé odpružení. Na přední i zadní nápravě byla použita kliková náprava, odpružená na každé straně dvojicí podélných vinutých pružin, které jsou namáhány na tah.

Na obr. 65 je schématicky zobrazeno odpružení Citroënu 2CV s pohonem přední nápravy. Ramena přední nápravy jsou zobrazena červeně, ramena zadní nápravy růžově. Každé rameno je spojeno se svojí vinutou pružinou, která je schovaná ve válci. Válec je přibližně uprostřed automobilu (zobrazen bíle). Na obr. 66 je detailněji zobrazen přenos váhy auta na vinutou pružinu. Na konci každé kliky nápravy je rameno, které je spojeno s tyčí, která je pak pevně spojena s pružinou. Pružina je ve válci spojena jedním koncem pevně k rámu a druhým koncem k této tyči.

Nápravy Citroënu 2CV jsou velmi jednoduché a levné konstrukce a přitom velmi funkční. Je to konstrukčně nejjednodušší nezávislé odpružení vozidla. Díky dobrému poměru odpružených a neodpružených hmot bylo celé odpružení vozu velmi komfortní. Tisk v té době tvrdil, že „Žádný vůz se na silnici nechová tak, jako Citroën 2CV. Pohled na divoce poskakující vůz je sice hrůzostrašný, nicméně řízení je výtečné.“ [20]

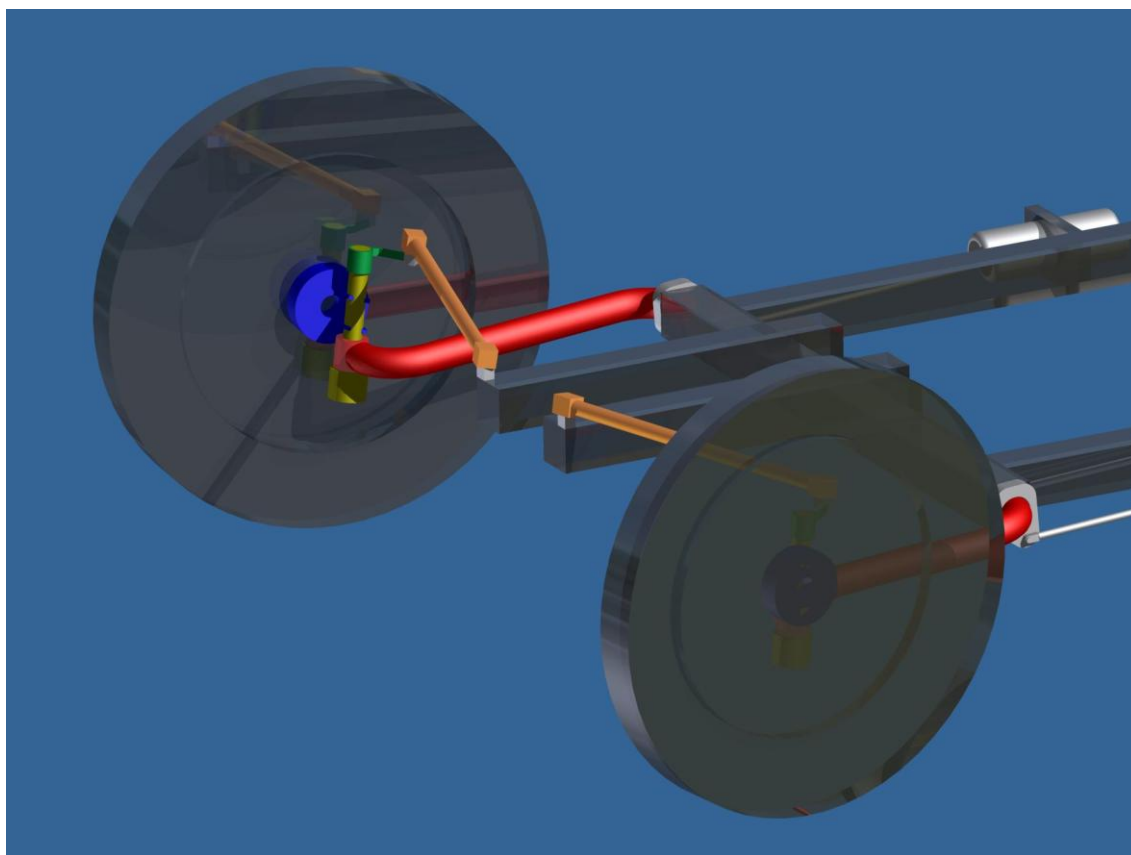


Obr. 65 Podvozek Citroën 2CV.



*Obr. 66 Přenos váhy auta na vinutou pružinu.*

Pro lepší jízdní vlastnosti má přední náprava velký úhel záklonu čepu (viz obr. 67). Díky tomu se také vytvořilo místo pro přivedení náhonu na kola. Brzdy jsou umístěny u převodovky. Čep nápravy (zobrazen žlutě) je přes ložisko uchopen k ramenu nápravy. Veškeré zatížení nese právě tento čep. Těhlice kola (zobrazena modře) je pevně spojena s čepem, díky tomu se tento čep otáčí společně s kolem při zatáčení. K hornímu konci čepu je napevno připevněno rameno (vyznačeno zeleně). Toto rameno je pak pomocí řídicí tyče spojeno s převodovkou řízení. Řídicí tyč je namáhána pouze silou, která je potřebná pro zatočení kola a pro držení kola v tomto zvoleném směru.



*Obr. 67 Detail přední nápravy.*

## 4 Závěr

Tato práce referuje o nejčastěji používaných typech nezávislého odpružení vozidel. Volba typu nápravy záleží především na účelu vozidla. Jsou zde nastíněny vazby mezi jednotlivými typy náprav a účelů vozidla.

Mezi nejrozšířenější přední zavěšení u osobních vozidel patří náprava MacPherson pro její prostorovou nenáročnost a pro její konstrukční jednoduchost. Ve vyšší třídě vozidel se používá lichoběžníková nebo víceprvková náprava. Tyto nápravy umožňují lepší nastavení kinematiky. Automobily s těmito typy náprav mají lepší přilnavost k vozovce a díky tomu jsou bezpečnější. Víceprvková náprava má zároveň nízké tření celého zavěšení, vznikající při pohlcování nerovností a dobrý poměr neodpružených a odpružených hmot. Tyto vlastnosti zaručují komfortní jízdu.

Mezi nejrozšířenější zadní zavěšení lze u osobních vozidel považovat klikovou nápravu s torzním propojovacím prvkem. Tato náprava je jednoduchá a zároveň prostorově nenáročná. Ve vozidlech vyšší třídy se objevuje na zadní nápravě celá řada náprav, přesto asi nejlepší vedení kola zajišťuje víceprvková náprava, podobně jako u přední nápravy.

U nákladních vozidel převládá závislé zavěšení na zadní i přední nápravě. Nezávislé zavěšení pomocí výkyvných polonáprav, které používají všechny nákladní vozy Tatra jsou výjimkou. Toto zavěšení má svoje výhody oproti závislému zavěšení.

Systém zavěšení kol vozidel se stále vyvíjí. Jednoduché systémy zavěšení jsou nahrazovány složitějšími a propracovanějšími systémy zavěšení, které umožňují kvalitnější vedení kola. Je otázkou, zda se použití složitějších systémů zavěšení vyplatí u jednotlivých typů vozidel. V dnešní době určují typ zavěšení pro osobní vozidla především výrobní náklady zavěšení. Požadavek na kvalitu jízdních vlastností automobilu jsou až druhým faktorem (výjimku tvoří sportovní automobily a automobily prémiových tříd). Z důvodu snížení výrobních cen zavěšení je proto kladen důraz na vývoj takových typů náprav, které jsou jednoduché a zároveň umožňují kvalitní vedení kol.

## Použitá literatura

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3.přepřac.vyd. Brno : Nakladatelství František Vlk, 2006. 464s. ISBN 80-239-6464-X
- [2] ROSENKRANZ, Karel. *Tatra : Autoalbum*. Vyd.1. [s.l.] : MS Press, 2002. 144s. ISBN 80-9009915-9-8.
- [3] Tatra, a.s. [online]. 2009, 19. 5. 2010 [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW: <[www.tatra.cz](http://www.tatra.cz)>.
- [4] Tatra, a.s. [online]. 2009 [cit. 2010-05-19]. Nápravy. Dostupné z WWW: <[http://www.tatra.cz/web\\_cz/naprava\\_cz.asp](http://www.tatra.cz/web_cz/naprava_cz.asp)>.
- [5] Tatra, a.s. [online]. 2009 [cit. 2010-05-19]. Centrální nosná roura. Dostupné z WWW: <[http://www.tatra.cz/web\\_cz/roura\\_cz.asp](http://www.tatra.cz/web_cz/roura_cz.asp)>.
- [6] Tatra, a.s. [online]. 2009 [cit. 2010-05-19]. Pérování zadních náprav. Dostupné z WWW: <[http://www.tatra.cz/web\\_cz/perov1\\_cz.asp](http://www.tatra.cz/web_cz/perov1_cz.asp)>.
- [7] LONGHURST, Chris. *Car Bibles* [online]. 1994 - 2010, last updated on 11th May 2010 [cit. 2010-05-19]. The Suspension Bible. Dostupné z WWW: <[http://www.carbibles.com/suspension\\_bible.html](http://www.carbibles.com/suspension_bible.html)>.
- [8] DANIELS, Beau; DANIELS, Alan. *Automotive illustrators* [online]. 1995-2007 [cit. 2010-05-19]. Suspensions portfolio. Dostupné z WWW: <<http://www.automotive-illustration.co.uk/suspensions.html>>.
- [9] REMEK, Branko. *Oltcit : Údržba a opravy*. vydání první. Praha : [s.n.], 1991. 240 s. ISBN 80-900759-0-8.
- [10] ŠLEHOFER, Vlastislav. *Údržba a opravy vozů Trabant 601*. Páte, přepracované a doplněné vydání. Praha : SNTL, 1984. 288 s. DT 629.113.004.5/.67.
- [11] Autolexikon.net [online]. 9. říjen 2009 [cit. 2010-05-19]. Náprava MacPherson. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexikon.net/articles/naprava-macpherson-mcpherson>>.
- [12] AUTO.CZ [online]. 08. 10. 2006 [cit. 2010-05-19]. Opel Meriva 1.3 CDTI – variace na velkoprostorové téma. Dostupné z WWW: <<http://magazin.auto.cz/testy/opel-meriva-1-3-cdti-variace-na-velkoprostorove-tema.html>>.
- [13] Toyota.com [online]. 2008 [cit. 2010-05-19]. COROLLA 2008 TECHNOLOGY. Dostupné z WWW: <[http://www.toyota.com.kw/english/toyota\\_models/corolla/technology.asp](http://www.toyota.com.kw/english/toyota_models/corolla/technology.asp)>.

- [14] Autolexicon.net [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Víceprvková náprava. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/viceprvkova-naprava>>.
- [15] Bmw.cz [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Multi-link rear suspension. Dostupné z WWW: <[http://www.bmw.cz/cz/cs/insights/technology/technology\\_guide/articles/multilink\\_rear\\_suspension.html](http://www.bmw.cz/cz/cs/insights/technology/technology_guide/articles/multilink_rear_suspension.html)>.
- [16] Autolexicon.net [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Kyvadlová náprava. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/kyvadlova-uhlova-naprava>>.
- [17] REIMPELL, Jörsen; STOLL, Helmut; BETZLER, Jürgen W. *The Automotive Chassis : Engineering Principles*. Translated from the German by AGET Limited. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2001. 444p. ISBN 0-7506-5054-0.
- [18] AUTO.CZ [online]. 01. 01. 1998 [cit. 2010-05-19]. Škoda Octavia 1,9 TDI. Dostupné z WWW: <<http://magazin.auto.cz/testy/skoda-octavia-1-9-tdi.html>>.
- [19] AUTO.CZ [online]. 17. 09. 1999 [cit. 2010-05-19]. Nissan Primera 1,8 hatchback. Dostupné z WWW: <<http://magazin.auto.cz/testy/nissan-primera-1-8-hatchback.html>>.
- [20] QUENTIN, Willson. *Auta legendy*. Vydání první. Praha : nakladatelství Euromedia Group, 2002. 576s. ISBN 80-242-0870-9



## Použité symboly a zkratky

Symbol	Název	Jednotka
$a$	vzdálenost osy kola a osy kývání klikové nápravy	[mm]
$c$	vzdálenost ložisek klikové nápravy	[mm]
$d$	vzdálenost nejvzdálenějšího ložiska od podélné osy kola	[mm]
$F_x$	podélná síla působící na kolo	[N]
$F_y$	příčná síla působící na kolo	[N]
$F_z$	svislá síla působící na kolo	[N]
$K$	bod dotyku kola s vozovkou	
$O$	střed klonění karoserie	
$y$	změna rozchodu kol	[mm]
$r_0$	poloměr rejdu	[mm]
$\psi$	klopení karoserie	[°]
$\delta$	úhel sbíhavosti	[°]
$\gamma$	úhel odklonu kola	[°]
$\tau$	záklon rejdové osy	[°]
$\sigma$	příklon rejdové osy	[°]
$\delta_{e,r}$	úhel samorízení	[°]